ELEMENTI

DI

ASTRONOMIA

ad uso delle Scuole e per Istruzione privata

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY SAN DIEGO

COMPILATI

DAL

P. ADOLFO MÜLLER d. C. d. G.

Professore di Astronomia nell'Università Gregoriana
Direttore dell'Osserv. Astron. sul Gianicolo

VOLUME I.

ASTROMETRIA - ASTROMECCANICA

CON CIRCA 300 INCISIONI INTERCALATE NEL TESTO
E DUE CARTE STELLARI

ROMA
DESCLÉE, LEFEBVRE E C. EDITORI
Via Santa Chiara, 20-21

1904

Digitized by Google

THE UNIVERSITY OF CHICAGO LIBRARY

QB43 M9

PROPRIETÀ LETTERARIA

Tournai 1904 - Tip. della Società di S. Giovanni Evangelista.

Digitized by Google

3151

251319

UNIVERSITY OF CHICAGO LIBRARY CHICAGO ILL.

ALLA CARA MEMORIA

DEL SUO ILLUSTRE MAESTRO

E PREDECESSORE NELLA CATTEDRA DI ASTRONOMIA

NELL'UNIVERSITÀ GREGORIANA

P. ANGELO SECCHI

IN OCCASIONE DELLE SOLENNI ONORANZE

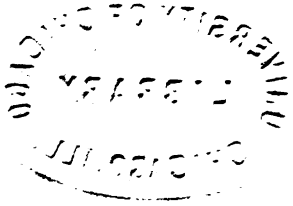
NEL XXV DALLA MORTE

DEDICA QUEST'OPERA

IN ATTESTATO DI AFFETTO E RICONOSCENZA

L'AUTORE

Digitized by Google



Digitized by Google

INTRODUZIONE

La contemplazione del cielo stellato, ha sempre avuto una speciale attrattiva per la mente umana. L'aspetto della volta maestosa celeste, seminata di innumerevoli punti luminosi, i quali come gemme brillanti scintillano con mirabile varietà di luce e di colori sul fondo azzurro di essa, ha qualche cosa di meraviglioso che rapisce ed incanta; ed è perciò che fin dai primordii del genere umano lo studio dei cieli sembrò una delle occupazioni più dilettevoli, e più degni della mente dell'uomo. Infatti un immenso oceano di meraviglie si apre davanti allo sguardo, se in una notte serena alziamo gli occhi al cielo. Là vediamo con fiammeggianti lettere d'oro descritta la grandezza del Creatore: quelle miriadi di facole celesti, portate da mano invisibile, procedenti con ordine mirabile, solenne e silenzioso, eccitano grandiosi concetti nella mente, ed empiono il cuore del contemplatore di nobilissime aspirazioni: «*I cieli raccontano la gloria di Dio, e l'opera delle sue mani annunzia il firmamento*».[1] L'occhio cerca invano di giungere fino all' ultima stelletta; quanto più profondamente l'occhio penetra in quegli spazii immensi, quanto più aumenta, con mirabili trovati dell' arte umana, il suo potere visivo, tanto più cresce il numero sterminato dei mondi,

(1) *Ps.* XVIII.

Digitized by Google

che si mostrano al suo sguardo stordito. Veramente un abisso richiama l'altro. La fantasia, portata sulle ali dello stesso raggio luminoso, si perde in quelle inscrutabili profondità; la nostra mente soprafatta da tanta grandezza, potenza, immensità, s'inchina riverente davanti al fattore di essa, esclamando col divin poeta:

> La gloria di Colui, che tutto muove
> Per l'universo penetra e risplende.

La scienza astronomica però non si contenta di una mera ammirazione deliziosa di tante bellezze, le quali esercitano un vero fascino sull'animo dell'osservatore, e procurarono all'astronomia il glorioso titolo di regina delle scienze naturali; essa cerca di squarciare il velo, che copre il misterioso meccanismo di questa grandiosa macchina celeste, ed investigare le leggi delle forze che la reggono. L'astronomia scientifica con un lungo, paziente e perseverante studio, osservando, misurando, confrontando, calcolando e discutendo, è arrivata difatti a scoprire quelle leggi, le quali colla loro semplicità ed universalità rispecchiano di nuovo la grandezza del Creatore dell'universo. La descrizione del progresso, fatto in queste ricerche attraverso i secoli trascorsi, dal principio di ogni cultura fino ai tempi nostri, forma una delle pagine più interessanti della storia dello sviluppo della mente umana, dell'umano sapere in generale, della storia della filosofia. Chiamando in aiuto tutto l'apparato delle altre scienze, della geometria, aritmetica, meccanica, fisica, geodesia, meteorologia, servendosi dei potenti mezzi meccanici ed ottici dell'arte, cotanto progredita ai giorni

Digitized by Google

nostri, non risparmiando nè a spese, nè a fatiche, dove trattasi di sciogliere ancora qualche problema, rimasto senza soluzione, anzi di togliere un piccolo dubbio ancora esistente nelle teorie dell'universo, la scienza astronomica oggidì è arrivata ad un grado di perfezione, ad un grado di certezza tale nelle sue conclusioni, che molte altre scienze le invidiano. Per questo solo meriterebbe già l'attenzione speciale di tutti quelli, ai quali sta a cuore la cultura del genio umano.

I risultati ottenuti dall'astronomia come scienza esatta, le assegnano pure un posto onorevole tra le scienze, che credonsi di particolare utilità al moltiforme progresso dell'umano consorzio. Ad essa devesi il merito, di avere definitivamente dissipato gli strani pregiudizii della cosidetta *astrologia*, di aver liberato i popoli dalle angustie, che per tanto tempo si impossessarono della mente, all'apparire di certi fenomeni celesti, additandone la vera causa. L'astronomia mostra la via sicura da seguirsi dalle migliaia di navi che percorrono i vasti oceani, indica l'ora opportuna all'entrata nei varii porti, regola i molti segnali di tempo e spazio sull'intero globo terrestre, e con ciò è diventata potente ed indispensabile fautrice dei commerci internazionali, salvatrice di migliaia e migliaia di vite umane dai pericoli dei mari, vincolo di unità e fratellanza tra le varie nazioni. La precisione dei nostri cronometri, la perfezione dei nostri calendarii, il regolare andamento delle stesse feste e solennità ecclesiastiche e civili, tutto questo è in gran parte dovuto all'astronomia. I problemi astronomici aizzarono la mente di grandi matematici, a trovare nuovi e

Digitized by Google

sublimi metodi di calcolo, stimularono la destrezza degli ottici, a costruire quei grandi tubi telescopici, che per la loro grandiosità e forza penetrante, formano l'ammirazione di tutti. All'astronomia deve ricorrere il geografo, che vuole descrivere la struttura esterna, il geologo, che indaga la struttura interna della nostra Terra, lo storico che vuole strigarsi dal labirinto d' una cronologia imbrogliata, il filosofo che cerca concetti grandiosi e sicuri a costruire una cosmogonia soda e ben fondata, a precisare sempre più le idee d'una cosmologia ben ragionata.

Considerando tutto ciò, si cancellerà dalla mente di taluni un pregiudizio, essere cioè l'astronomia uno studio superfluo e quasi di lusso, senza utilità pratica. Si capirà invece come gli stessi governi, pur troppo utilitarii ai giorni nostri, non risparmiano niente, per provvedere ai loro astronomi i mezzi utili e necessarii alle loro ricerche, benchè talvolta costosissimi. Basta ammirare quei grandiosi osservatorii moderni, i quali colle loro vaste cupole e torri, coi loro telescopi giganteschi ed altri apparati scientifici di ogni sorta, colle ricche biblioteche e coi loro laboratori sembrano veri templi di scienza progredita.

Oltre i vantaggi già accennati, lo studio dell'astronomia, scevro di esagerazioni fantastiche, col suo modo serio e disciplinato di procedere, serve mirabilmente a formare la mente della nostra studiosa gioventù, e sotto questo punto di vista meriterebbe forse un po' più di attenzione dalla parte dei moderni pedagoghi; e ciò tanto più, in quanto alcuni vorrebbero servirsi perfino del progresso dell'astronomia scientifica, a preparare un mezzo d'aggressione

Digitized by Google

contro altre verità più importanti e di ordine superiore. Il preteso conflitto fra la scienza e la religione non esiste, ma per intendere meglio che non esiste, e per ribattere le aggressioni degli avversari, uno dei mezzi più adatti si è, di istruirsi bene nell'una e nell'altra.

Molti studiosi, allettati a questo genere di studio, si spaventano facilmente davanti a certe soverchie complicazioni ed astruserie, che abbondano in certi autori; altri sentono una certa avversione a qualunque formola matematica, e vorrebbero un'*astronomia senza calcoli*, un trattato facile, intelligibile senza troppa riflessione e senza applicazione seria di mente, insomma un'astronomia popolare. Così si spiega, perchè libri apparsi sotto questo titolo, e che più o meno hanno segnato il programma indicato, trovano più facilmente il favore del pubblico. L'opera nostra, frutto dell'insegnamento giornaliero di una diecina di anni, si propone una giusta via di mezzo tra l'uno e l'altro estremo. Un giovane studente, bramoso di stare anche in questo interessantissimo ramo delle scienze umane all'altezza del tempo, non si sente soddisfatto, leggendo un'astronomia meramente descrittiva, la quale talvolta con stile fiorito racconta fatti più o meno storici, enumera i risultati ottenuti, forse non senza mescolare il certo all'incerto, ardite ipotesi a verità assodate; egli invece vorrebbe vedersi introdotto con metodo ed ordine, se non nel santuario, almeno nell'atrio della scienza astronomica, donde poi, se si sentirà a ciò un giorno chiamato, possa progredire ulteriormente e penetrare i segreti più reconditi della medesima. Sarebbe un grande errore, se uno credesse,

Digitized by Google

collo studio di queste poche pagine avere fatto un corso completo di astronomia scientifica e pratica; esso avrà messo però un buono e sodo fondamento; una lettura sobria ed attenta del nostro libro fornirà a qualunque studente universitario quel grado di erudizione in materia astronomica, che ai nostri giorni si richiede in un uomo colto ed erudito, e lo renderà capace di formarsi un giudizio proprio ed indipendente sopra certe teorie che oggidì entrano nel campo di quasi tutte le scienze.

Un'opera che presti questi servizi, senza troppa pretensione sulle forze dello studente, già abbastanza carico di altri studii, sembra che soddisfaccia ad un desiderio sentito specialmente in Italia, dove un cielo limpido e sereno alletta più che altrove allo studio degli astri. Crediamo quindi di prestare un servizio alle nostre scuole universitarie, ai licei e seminarii, dando alla luce queste nostre modeste spiegazioni, le quali col loro stile semplice e chiaro, e illustrate con figure, serviranno allo studio privato, e potranno ancora formare un libro di testo per le pubbliche lezioni. Forse l'opera non sarà neppure sgradita a tutti quei maestri e professori delle varie scienze naturali, tanto stimate ai tempi nostri, i quali trovandosi nei loro insegnamenti continuamente in contatto prossimo coll'astronomia, vorrebbero con facilità e prontezza orientarsi nelle varie materie scientifiche del campo astronomico moderno.

Ecco in poche linee il programma prefissoci in questa pubblicazione. Da questo punto di vista l'opera vuole essere giudicata. Tenendoci quindi sempre conscienziosamente dentro i confini delle cognizioni matematiche elementari, cioè escludendo del

Digitized by Google

tutto, quantunque malvolentieri, il calcolo superiore differenziale ed integrale, lasciando l'esposizione delle teorie più astruse e difficili ai trattati speciali, i quali non mancano, ciononostante cercammo di rendere la nostra trattazione completa, quanto coi mezzi così limitati ci è stato possibile, ricorrendo, dove ciò sembrava necessario od opportuno, anche allo sviluppo storico, specialmente dei grandi sistemi mondiali, che hanno formato delle epoche ben distinte negli annali della scienza, ricordando però sempre quel detto di Manilio: *Ornari res ipsa negat, contenta doceri.*[1] Anzi nelle stesse illustrazioni, in gran parte da noi stessi ideate e delineate, abbiamo avuto di mira piuttosto la facilitazione dell' intelligenza delle cose esposte nel testo, che lo splendore di un'apparenza esterna, atta a cattivare l'animo dei lettori. Grazie però alla sollecitudine degli editori, nondimeno anche queste non sembreranno, come speriamo, indegne dell' oggetto trattato.

Tutta l'opera è divisa in due volumi, dei quali il primo (che ora vede la luce) contiene due rami distinti della scienza astronomica, chiamati Astrometria ed Astromeccanica. Il secondo volume, più o meno della stessa grossezza come il primo, tratterà il ramo più moderno e forse anche più interessante, cioè l'Astrofisica, alla quale, quanto lo spazio lo permetterà, aggiungeremo come appendice un breve compendio della storia dell'astronomia, che chiameremo Astrocronaca.

L'Astrometria, detta pure *astronomia sferica,* forma anche cronologicamente la parte più antica

(1) Astronomicon III, 39.

Digitized by Google

dell'astronomia; essa si occupa della misura esatta delle posizioni degli astri sulla sfera celeste.

L'Astromeccanica ossia la *meccanica celeste*, frutto d'uno studio più moderno, tratta dei moti particolari degli astri e delle leggi che governano questi movimenti. In questa parte studieremo quindi le varie orbite dei corpi celesti ed i vincoli, che esistono tra le medesime.

L'Astrofisica finalmente, l'ultimo ma non meno rispettabile rampollo dell'astronomia scientifica, esamina la costituzione fisica dei singoli corpi celesti, in modo particolare di quelli che formano il nostro sistema planetario o solare. Essa, dall' osservazione della loro struttura esterna, fatta con mezzi nuovi, trae le conclusioni sulla struttura interna, indagando lo sviluppo naturale di quelle masse gigantesche dallo stato chaotico fino allo stadio in cui si presentano ai nostri dì. Sopra le meravigliose scoperte della fotografia celeste, della fotometria, ma specialmente della spettroscopia, che verranno trattati in questa parte, si fondano le grandi teorie cosmogoniche moderne, lo studio delle quali merita l'attenzione di tutti i dotti. Per altri particolari rimettiamo ai rispettivi indici dei due volumi, colla persuasione, che nessuna questione di qualche importanza, accessibile ai nostri mezzi, sia stata trascurata. Il lettore vedrà da se stesso, che dovendosi trattare tante e sì svariate questioni, una certa brevità e sobrietà nell'esposizione delle cose ci è stata assolutamente necessaria. Cedendo a questa necessità speriamo nondimeno aver evitato ugualmente l'altro pericolo del *brevis esse laboro, obscurus fio;* dove questi due estremi sembravano inevitabili abbiamo cercato di

Digitized by Google

supplire con opportune citazioni di altre opere, le quali trattano più ampiamente qualche questione particolare.

Anche la parte tecnica, la quale nei libri didattici suole essere di non piccola importanza, non è stata trascurata. Oltre gli indici generali colle loro divisioni e sottodivisioni, iscrizioni opportune delle singole pagine coi titoli dei varii capitoli, coi numeri correnti dei singoli paragrafi, faciliteranno l'uso dell'opera. Una certa diversità dei tipi aiuterà non poco l'occhio e la memoria dei lettori, i quali così più facilmente potranno rendersi conto delle cose studiate, compendiate in questo modo semplicissimo. Note esplicative del testo con caratteri più minuti spiegano opportunamente il testo, senza aumentare con ciò di molto la voluminosità del libro. Un indice generale alfabetico alla fine del secondo volume fa trovare immediatamente qualunque punto trattato, e con ciò l'opera diventa un vero dizionario astronomico, utilissimo per qualunque biblioteca.

In tutto ciò, quanto al modo di trattare le varie questioni, abbiamo cercato di seguire le orme dei nostri predecessori nella cattedra del Collegio Romano, tra i quali parecchi hanno lasciato alla posterità un nome insigne, come uno Scheiner, Clavius, Kircher, Riccioli, Grienberger, un Boscovich, de Vico, ed ultimamente un P. Secchi, dal quale, circa trenta anni fa, l'autore di quest'opera ebbe le prime istruzioni astronomiche nel detto Collegio. La scienza in questo tempo ha fatto dei nuovi progressi, e chi confronti questa nostra modesta pubblicazione col libretto litografato del chiarissimo nostro maestro, anzi colla nostra prima edizione litografica da qualche

Digitized by Google

anno già esaurita, potrà di ciò convincersi. Grandi servizii però ci prestarono in questa compilazione le altre belle opere del medesimo P. Secchi, specialmente i due volumi classici sul Sole (*Le Soleil*, Paris 1875), ed il libro intitolato *Le Stelle* (Milano 1877), oltre le innumerevoli pubblicazioni sporadiche, che si trovano tra le memorie di molte accademie italiane ed estere. « Chi scrive un'opera elementare », osserva bene l'illustre astronomo Santini († 1877), « non crea la scienza che imprende a trattare, ma solo ha in vista di riunire e disporre le altrui scoperte »; il perchè abbiamo cercato di fare tesoro di tante altre rinomate opere di valenti astronomi italiani, tedeschi, francesi, inglesi, americani, ecc. dei quali non pochi si troveranno citati nel decorso dell'opera; in quanto però al metodo, alla disposizione ed al modo di trattare le varie questioni, una certa originalità ed indipendenza non potrà disconoscersi nella medesima; anzi abbiamo cercato di utilizzare le nostre proprie osservazioni, fatte in varii osservatorii astronomici, specialmente in questo privato sul Gianicolo. Sebbene per circostanze ben note, questo non disponga dei mezzi, dei quali disponeva il P. Secchi all'osservatorio (ora reale) del Collegio Romano, dal medesimo riorganizzato ed arricchito di apparati di ogni genere (astronomici, meteorologici, magnetici), purnondimeno ci fornisce la possibilità di verificare molte cose asserite da altri, e di fondarci quindi non solamente sull'autorità altrui, ma sopra l'esperienza propria.

In fine prendiamo con piacere quest'opportunità, per ringraziare tutti quelli, i quali ci hanno incoraggiato ed aiutato nell'ardua impresa di questa

Digitized by Google

pubblicazione. Speciali grazie sono dovute al Reverendo P. Pietro Mezzetti S. I., professore di Fisica ed Astronomia nel pontificio Collegio Leonino di Anagni, il quale gentilmente si è prestato a rivedere quest' opera, scritta da noi in una lingua che non è la nostra materna. Ringraziamo parimente la casa editrice Desclée, Lefebvre e C., la quale non ha risparmiato cosa alcuna per assicurare alla pubblicazione un completo successo.

Possa dunque questa tenue fatica, così concludiamo col P. Secchi, riuscire di profitto alla gioventù, eccitandola a questi studii e ad ammirare ed onorare il Creatore, la cui opera io spero che imparerà sempre meglio a conoscere da questo libro: *Coeli enarrant gloriam Dei, et opera manuum eius annuntiat firmamentum*;[1] ovvero, come leggevasi sulla tomba dello stesso compianto nostro maestro:

A CONSPECTU COELI
AD DEUM
VIA BREVIS.

Roma, 1° Novembre 1903.

L'AUTORE.

(1) Ps. XVIII.

Digitized by Google

Digitized by Google

PARTE PRIMA

ORIENTAZIONE SULLA SFERA CELESTE

CAPITOLO I.

CONCETTO DELLA SFERA CELESTE

1. — **Sfera** (1) **celeste** suol chiamarsi la grandiosa superficie curvata, la quale tutta seminata di stelle fulgenti, a foggia di cupola immensa s'innalza sopra il nostro globo terrestre; anzi lo accerchia e circonda da tutte le parti. È vero che noi, a cagione dell'estensione della superficie terrestre, non vediamo ad un tempo se non la metà ossia un emisferio (2) di questo gigantesco globo celeste, però l'apparente suo giro continuo, il successivo cambiamento del suo aspetto, tosto ci persuade trattarsi di una sfera intera e completa.

2. — Non mancarono nell'antichità, fino al secolo XVI dell'èra nostra, degli autori, i quali consideravano la Sfera celeste come un corpo vuoto solido di dimensioni colossali. Sulla parte interna concava (3) essi immaginarono essere le stelle fissate e fermate (come altrettanti chiodi d'oro). Forse lo stesso nome di Firmamento (4) deve la sua origine a questa idea. Nel centro della sfera (*Sphaera stellarum fixarum*) si supponeva la Terra perfettamente equilibrata e ferma.

(1) Dal greco σφαῖρα (globo).

(2) Dal greco ἡμισφαίριον (mezza sfera).

(3) Da κοῖλον (cavo) è derivata la parola latina coelum (cielo).

(4) Il nome Mondo (dal latino movendus) allude al moto diurno apparente del cielo sidereo, del Primo mobile degli antichi. Secondo altri la parola Mondo (latino Mundus) esprimerebbe piuttosto la purezza (mondezza) del cielo stellato. — Molte volte il nome Mondo indica lo stesso che Universo, il quale comprende anche la Terra e tutto l'insieme delle cose create. La parola Cosmo, derivata dal greco κόσμος (ordine), esprime piuttosto l'ordine ammirabile dell'Universo, che specialmente si manifesta nel cielo stellato.

Digitized by Google

Questo concetto di una sfera materiale e reale pressochè infantile e da lungo tempo abbandonato come erroneo, nondimeno rispecchiava abbastanza in quei tempi un grande numero di apparenze rispetto alle stelle, ai loro moti, alle loro distanze relative. Esso poteva almeno fare dei servizi e facilitare le prime idee di quel ramo dell'Astronomia, comunemente chiamato Astronomia sferica, cioè dell'arte di determinare la posizione relativa degli astri sul cielo.

3. — Anche oggi tutti i libri astronomici trattano ancora della Sfera celeste, non però come di una sfera materiale, ma di un concetto geometrico astratto. Difatti le stelle si trovano disseminate nello spazio a distanze (comunemente parlando) immensurabili, delle quali appena possiamo farci una idea. Astraendo quindi dalla distanza, l' Astronomo nelle prime misure da farsi si contenta di misurare la loro posizione relativa mediante **misure angolari**, nelle quali l'occhio dell'osservatore forma il vertice dell'angolo, i raggi visuali degli oggetti luminosi formano i lati. Ora per la misura di un angolo (Fig. 1) X O Y $=\measuredangle\,\omega$, sarà cosa indifferente in che punto della linea O X ed O Y si trovino i punti di mira, se in A, A′, A″ ovvero in B, B′, B″. Se poi molti di tali punti (C, D, E, F) sono da determinarsi, sarà cosa assai comoda, di immaginarli tutti collocati alla stessa unità di distanza dal comune centro (di osservazione) O, ossia tutti sulla circonferenza d'un medesimo circolo. Quello poi che la figura mostra per un circolo (ossia rispetto a punti nello stesso piano), facilmente si applica ad una sfera, trattandosi di punti sparsi per lo spazio in tutti i sensi. Così l'Astrometria ossia l'Astronomia sferica, evitando le idee erronee dell'infanzia dell'Astronomia, ne utilizza i concetti veri.

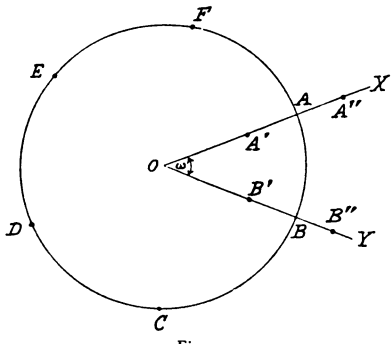


Fig. 1.

4. — Che la Sfera celeste così spiegata debba concepirsi avere **un raggio interminabile** (fuori di ogni misura), che

Digitized by Google

quindi il globo terrestre in confronto colla medesima debba considerarsi come un punto, lo dimostrano le osservazioni astronomiche. Imperocchè la distanza angolare delle stelle rimane la stessa in qualunque punto della superficie terrestre l'osservatore si trovi. Ora questo non potrebbe darsi, se (Fig. 2) il raggio O A del globo terrestre e O S della Sfera celeste avessero un rapporto determinabile. Un osservatore collocato in B vedrebbe evidentemente due stelle S e S′ sotto un angolo minore di un osservatore in A ($\sphericalangle$ S B S′ $<$ $\sphericalangle$ S A S′). Lo stesso viene confermato dal fatto, che vediamo sempre un emisferio intero della Sfera celeste. Così per esempio un osservatore in A non vede soltanto le stelle di una calotta sferica C S C′, ma dell'emisferio intero H S H′.[1] Questo mostra che il raggio O A in confronto del raggio O H diventa una quantità trascurabile.

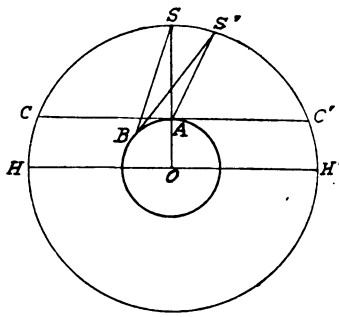


Fig. 2.

5. — Da ciò segue che i raggi luminosi emanati da una stella verso un punto qualunque della superficie terrestre possono considerarsi (senza errore sensibile) come paralleli; anzi i due punti estremi del diametro terrestre, guardati da distanza così immensa, coinciderebbero in un punto solo. La Terra, guardata da quegli spazi immensi, sembrerebbe un puntino appena visibile, anche ad un occhio penetrantissimo e fornito di tutti i mezzi telescopici moderni; come viceversa nessuno dei nostri telescopi è giunto ad allargare i punti fulgenti delle stelle (fisse) in un globetto mensurabile.

6. — La Sfera celeste così concepita offre tutte le qualità d'una sfera geometrica. La sua **rotazione apparente** diurna nello spazio di ventiquattro ore, intorno ad un asse stabile, ci rivela i punti sul cielo pei quali l'asse del mondo sembra essere diretto. Sarà quindi permesso di costruire sopra di essa dei circoli di orientazione, come si farebbe sopra un

(1) Facciamo qui astrazione dal fenomeno della rifrazione atmosferica, da spiegarsi più tardi.

Digitized by Google

globo artificiale, sarà possibile di assegnare certi punti di partenza pel nostro orientamento, potremo così dare un fondamento solido ai nostri studi astrometrici.

Prima però di cominciare questo studio, un po' di orientazione tra gli stessi astri del cielo ci sarà di grande aiuto.

COROLLARIO

7. — Il concetto teorico della sfera celeste testè esposto, per sè ha poco da fare colla difficoltà mossa dalla variabilità della distanza apparente del fondo del cielo. Questo fondo aereo più o meno azzurro, sopra il quale noi proiettiamo gli astri, a cagione delle sfumature verso l'orizzonte ci sembra ivi più lontano, donde poi tutto l'insieme della **volta celeste** prende l'aspetto d'una cupola abbassata verso il vertice, ossia d'una calotta sferica (C S C', Fig. 2). Conseguentemente noi per un giudizio spontaneo (avvezzi all'effetto della prospettiva) riferiamo gli oggetti celesti (Sole, Luna, Costellazioni) a distanze maggiori, credendoli più grandi dell'ordinario.

Un'esperienza fatta renderà la cosa più chiara: un osservatore vide un giorno nel crepuscolo della mattina la sommità di un fumaiuolo visibile dietro una casa vicina proiettarsi sopra una montagna molto più lontana. Le tinte del camino e della montagna erano pressochè le medesime, donde l'osservatore riferendo tutti e due gli oggetti alla medesima distanza, si meravigliò come in un tempo così breve si fosse potuto fabbricare su quella montagna una torre così gigantesca. Poco dopo i raggi del Sole caddero sul camino vicino: tutta l'illusione ottica scomparve in un momento, la supposta torre grandiosa prese subito le modeste dimensioni d'un vicino fumaiuolo ordinario.

8. — Che anche nel caso di oggetti celesti la cosa sia una mera illusione ottica, lo provano le misure angolari dei loro diametri, che (astrazione fatta dal noto fenomeno della rifrazione atmosferica) rimangono gli stessi. Quindi la difficoltà non è contraria al concetto da noi esposto della Sfera celeste, per la qual cosa non è qui il luogo di discutere le molte altre ragioni, che sogliono addursi per dare una spiegazione più

Digitized by Google

completa del fenomeno fisiologico. Basti qui accennare, che si ricorre pure al confronto cogli oggetti terrestri di dimensione conosciuta, alla struttura e alla diversa posizione dell'occhio umano, al contrasto di luminosità dell'oggetto in quistione col fondo del cielo, all'agitazione dell'aria nelle basse regioni, allo stato meteorologico dell' atmosfera ecc. Per noi importa di aver costatato che altra cosa è il concetto astratto astrometrico d'una Sfera celeste, altra cosa la volta aerea celeste, secondo lo stato atmosferico, più o meno sferica in apparenza.

CAPITOLO II.

GLI ASTRI E LE COSTELLAZIONI

9. — Col nome generico di astro[1] si denota comunemente un oggetto qualunque luminoso della Sfera celeste, un corpo celeste qualunque, sia che questo abbia una posizione relativamente fissa e costante tra tanti altri come le stelle, che perciò (senza supporle fissate in una sfera materiale) si chiamano semplicemente **Stelle fisse**, sia che l'oggetto cambi la sua posizione tra gli altri, come fanno il Sole, la Luna ed i **pianeti.**[2] Di questi ultimi soltanto cinque sono visibili ad occhio nudo cioè: Mercurio (☿), Venere (♀), Marte (♂),

(1) Dal greco ἄστρον, latino astrum.

(2) Dal greco πλανήϛ (gen. πλανήτοϛ), latino planeta (errante o vago). I vari segni assegnati a ciascuno di essi alludono alle proprietà mitologiche delle divinità, delle quali portano il nome; il distintivo del pianeta Mercurio è il caduceo (κηρύκειον, lat. caduceum), quello di Venere uno specchio, quello di Marte uno scudo con lancea; nel simbolo di Giove (fulminatore) alcuni riconoscono la figura (zigzag) del suo fulmine, altri la lettera iniziale del suo nome greco Ζεύϛ; Saturno (il dio dell'agricoltura) viene indicato da una falce. — Simili segni convenzionali sono stati assegnati al Sole (☉ una rota di fuoco) ed alla Luna (☽), che, secondo le idee degli antichi, erano pianeti come i precedenti; il numero settenario di questi astri vedesi perpetuato nella nomenclatura della nostra Settimana.

I simboli indicati si raccomandano almeno per la speditezza della loro scrittura. La Terra, secondo le teoriche antiche, corpo centrale di tutto l'Universo, ricevette il segno (♁) d'un globo semplice sormontato da una croce. Questo simbolo cristiano si seppe pure unire più o meno coi segni enumerati dei pianeti.

Digitized by Google

Giove (♃) e Saturno (♄); essi non soltanto per la loro posizione variabile si fanno riconoscere tra le stelle fisse, ma ancora per la loro luce brillante e tranquilla. Riservando la spiegazione di questi astri particolari a luogo più opportuno, rivolgiamo ora il nostro sguardo alle stelle fisse, le quali come innumerevoli e svariatissimi punti luminosi ingemmano la volta celeste notturna.

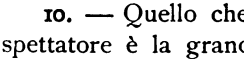


Fig. 3.

10. — Quello che prima di tutto colpisce l'occhio dello spettatore è la grande varietà di luce, colla quale esse

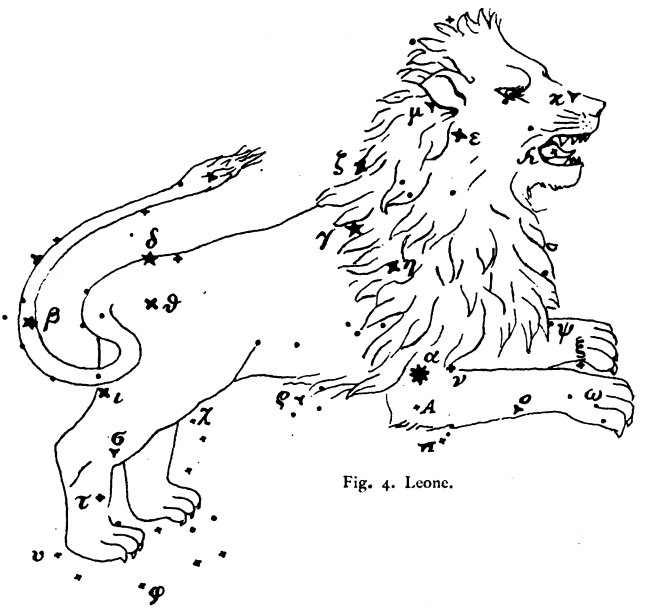


Fig. 4. Leone.

risplendono. Mentre alcune spiccano come stelle di prima grandezza, altre invece (a prima vista innumerabili) si vedono come puntini scintillanti appena visibili. Tra queste piccole stelline e quelle luminosissime, l'occhio distingue facilmente **varii gradi di luminosità** e di apparente grandezza, i quali ordinariamente sogliono ridursi a sei secondo lo schema della figura 3.

Digitized by Google

Con simboli analoghi sarà facile di segnare sopra una carta le **stelle di varia grandezza** ed il loro aggruppamento.

11. — La distribuzione di tutte queste stelle sulla volta del cielo, benchè svariatissima, nondimeno fa risaltare alcuni gruppi

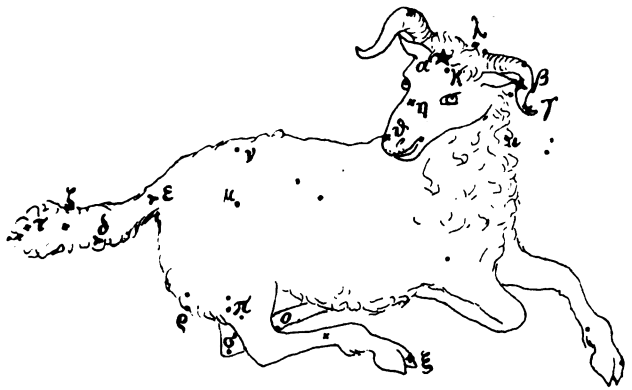


Fig. 5. Ariete.

nei quali gli astri sembrano naturalmente congiunti. L'occhio dell'osservatore li congiunge spontaneamente con delle linee ideali in figure; una fantasia un po' vivace scorge in questi allineamenti lo schizzo d'una figura conosciuta di un animale [1] (Fig. 4 e 5), di uno strumento (Fig. 6), ornamento (Fig. 7) d'una figura geometrica e così via. Ecco l' origine delle **Costellazioni** o **Asterismi** coi loro nomi talora strani e bizzarri. Alcune di queste denominazioni ora in uso saranno forse tanto antiche, quanto il genere umano stesso. Altre invece risalgono

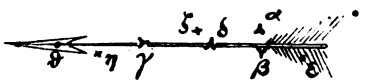


Fig. 6. Freccia.

(1) Di tali si contano più di quaranta:
Leone, Orsa, Cane, Toro, Capricorno, Capra, Ariete, Lepra,...
Aquila, Cigno, Corvo, Pavone, Grù, Tucano,...
Serpente, Scorpione, Cancro, Idra, Camaleonte,...
Balena, Pesce, Delfino,...
Oltre questi vi sono degli animali favolosi come:
Centauro, Pegaso, Liocorno, Fenice, ecc.

Digitized by Google

al periodo della mitologia greca, (1) alludono alla spedizione degli Argonauti (circa l'anno 1350 a. C.), (2) celebrano l'eccellenza dell'antica Grecia nell'arte guerresca, (3) nella poesia, musica, medicina (4) ecc. Alcune poi, specialmente quelle dell'emisferio australe, scoperte più tardi dalle nazioni del mondo incivilito, hanno ricevuto dei nomi più prosaici di strumenti astronomici e geometrici, (5) di apparati di Fisica e Chimica, (6) di strumenti dell'arte degli scultori e pittori. (7) Ad alcuni pochi asterismi, rimasti ancora senza nome ovvero staccati da quei già nominati, si sono dati dei nomi più moderni per celebrare qualche monarca o qualche eroe dei tempi più recenti. (8)

Fig. 7. Corona.

(1) Orione, Perseo, Medusa, Cefeo, Cassiopeia, Andromeda, (L'Acquario) Ganimede... A questa classe appartengono pure i nomi già enumerati dei pianeti. Dice Seneca († 65 d. C.): « Nondum sunt anni mille quingenti, ex quo Graecia... stellis numeros et nomina fecit » (Naturales Quaestiones l. 7, c. 25).

(2) Argo, Ercole, Castore, Polluce, Ariete, Toro, Dragone, ecc.

(3) Coi nomi degli anzidetti eroi.

(4) Il Serpente era l'emblema di Esculapio (Serpentario), la Lira quello di Orfeo.

(5) Telescopio, Sestante, Ottante, Quadrante murale, Reticolo, Compasso, Squadra, ecc.

(6) Macchina pneumatica, Microscopio, Laboratorio chimico...

(7) Cavalletto del pittore, Scarpello, Bulino...

(8) Scudo di Sobieski (introdotto 1616), Scettro (di Ludovico XIV di Francia, 1679), Quercia di Carlo (II re d'Inghilterra † 1685), Cuore di Carlo (II), Scettro di Brandenburgo (1688), Arpa di Giorgio (III re d'Inghilterra, 1789), Onori di Federico (II re di Prussia, 1798). A questa classe appartiene pure la costellazione antica Chioma di Berenice (principessa dell'Egitto † 222 a. C.). I nomi precedenti non hanno ottenuto mai una approvazione universale, donde in molti Cataloghi ed Atlanti non si trovano affatto.

Digitized by Google

12. — La costellazione più cospicua (nelle regioni dell'Europa e dell'Asia minore), e quindi più conosciuta, è quella dell'**Orsa maggiore** (Fig. 8). Le stelle principali di essa sono sette[1] tutte di II grandezza (eccettuata δ di III), le quali, essendo vicine al polo Nord della Sfera celeste, non tramontano mai,[2] ma descrivono un cerchio grandioso (in senso inverso degli indici d'un orologio) intorno a questo polo,[3] suggerendo così nella posizione inferiore la figura di un' Orsa,[4] in quella superiore quella di un Carro (Fig. 9).

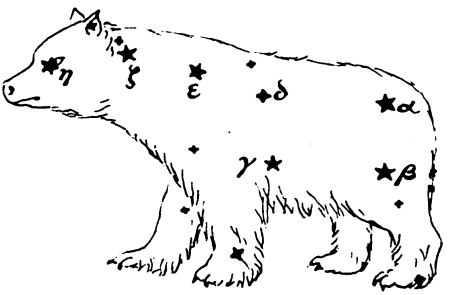


Fig. 8. Orsa maggiore.

Infatti troviamo questi nomi già nei documenti più antichi della letteratura.[5] Questa costellazione inoltre offre il grande

(1) La parola latina Septentrio pl. Septentriones (che indica la regione del Nord derivata da septem terriones (sette buoi) ricorda un'altra immaginazione degli antichi, che vedevano in quelle sette stelle sette buoi, condotti dal Bifolco (Boote). Altri credono che la parola settentrione indichi piuttosto sette triangoli (septem trigones), che nascono dalla congiunzione lineare di queste medesime stelle.

(2) « Metuentes aequore tingi », dice il poeta Virgilio (Georg. I, 246).

(3) A questo allude il nome di Elice (dal greco ἑλίκη) data alla stessa costellazione. Vedi Ovidio, Fast., l. 3, n. 108; Metam., l. 8, n. 206. Cfr. Manilius, Astronomicon, cap. 3; Dante, Parad. XXXI, 11.

(4) In lingua greca ἄρκτος, donde il polo Nord della Sfera celeste si chiama anche polo artico; il polo Sud, opposto, antartico. Il vicino Boote porta quindi anche il nome di Ἀρκτοφύλαξ (custode dell'Orsa). Cfr. Ovidio, Fast. II, 187 segg.

La figura (8), differente da quella tradizionale degli Atlanti astronomici, rende forse un poco più plausibile la nomenclatura. Si noti poi che come questa costellazione è proprio quella che domina nelle regioni terrestri polari, così l'animale riprodotto è il rappresentante più formidabile di quelle medesime regioni. È del resto cosa troppo naturale che quelli, che cercarono più tardi per la prima volta di esprimere con delle figure simboliche quei nomi, non riuscirono sempre ad esprimere il concetto primitivo.

(5) Canta Omero (Iliade XVIII, 487):

Ἄρκτον θ' ἣν καὶ ἅμαξαν ἐπίκλησιν καλέουσιν

o come dice la versione latina:

Digitized by Google

vantaggio, di potere per mezzo di essa facilmente ritrovare il suddetto polo. Prolungando cioè la linea che congiunge le stelle β e α veniamo (ad una distanza presso a poco uguale a quella della stella α dalla più remota η) ad una stella di III grandezza comunemente chiamata **Stella polare**, la quale per la sua massima vicinanza al polo stesso sembra restare quasi immobile allo stesso punto. (1)

13. — Questa medesima Stella polare è la più chiara di un gruppo minore di sette stelle, che per la loro disposizione di tre stelle aggiunte ad un quadrilatero ricordano la costellazione dell'Orsa maggiore (corrispondendo la Polare alla stella η dell'Orsa maggiore); donde era cosa del tutto naturale di chiamarla Orsa minore. Esaminando più accuratamente la posizione della Polare si trova che questa non sta precisamente nel polo, ma descrive ancora un piccolo cerchietto intorno ad esso, il quale abbraccia un raggio di circa un grado ed un quarto. Per mezzo di essa però diventa cosa facile il determinare con tutta la precisione desi-

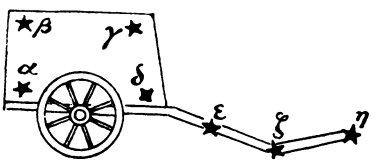


Fig. 9. Carro.

Ursam, mutato Plaustrum quam nomine dicunt.
(L'Orsa, la quale puranche si chiama il Carro).

Lo stesso Omero nell'Odissea (V, 272-75), dove occorre il medesimo verso, ricorda i nomi di Boote ed Orione. Simili nomi si leggono nella S. Scrittura (Giobbe, IX, 9; XXXVII, 9; XXXVIII, 31. Amos, V, 8. Isaia, XIII, 10) dove si parla di Orione, di Arturo e delle Pleiadi. È però da avvertirsi che questi nomi sono stati adottati dal Traduttore secondo l'uso del suo tempo, mentre i nomi più generici del testo originale ammettono forse altre interpretazioni.

(1) La Stella polare, per la sua posizione sensibilmente ferma vicino al Polo ha reso grandi servizi ai viaggiatori principalmente ai navigatori, donde viene da essi celebrata come Stella del Mare (Maris Stella) per eminenza.

La figura colla quale anche oggi si suol illustrare la Costellazione dell'Orsa minore, si rassomiglia molto più a quella di un Cane (con coda lunga eretta) che a quella di un'Orsa. Lo stesso nome greco Κυνοσουρὰ (Cynosura) Coda del Cane, col quale si nota pure la Stella polare, sembra indicare che una volta si chiamò Cane e non Orsa questa Costellazione del resto poco cospicua. (Cfr. Manilio, l. cit.).

Digitized by Google

derabile il vero punto polare, il vero Polo (Nord) della Sfera celeste.

La fotografia ci ha fornito un mezzo facile di precisare la posizione di cotal punto anzi di renderlo quasi visibile. Basta a questo fine prendere una fotografia della regione vicina alla

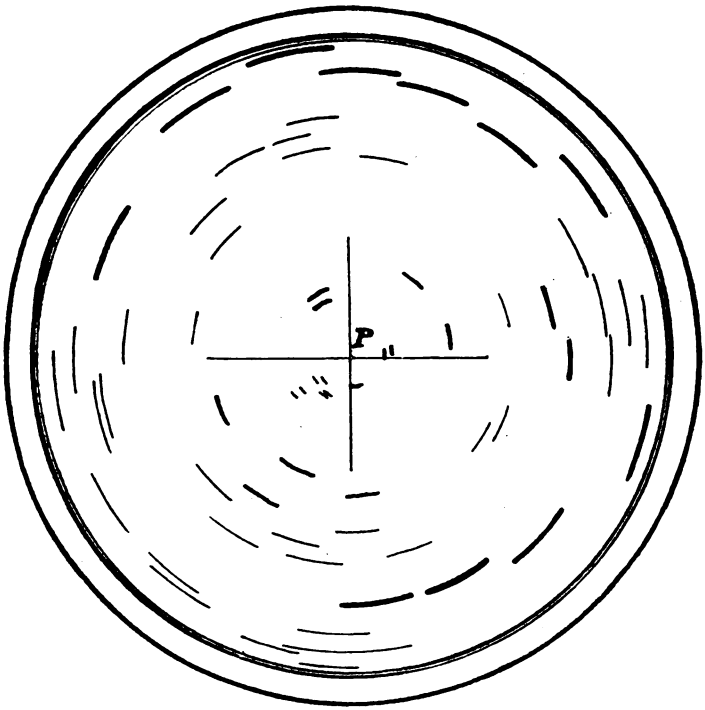


Fig. 10.

Stella polare. Moltissime stellette (anche invisibili all'occhio nudo) fanno la loro impressione sulla lastra fotografica. Se si lascia poi l'apparato esposto per parecchie ore, queste impressioni luminose che prima erano meri punti, per la rotazione apparente della Sfera celeste formano degli archi circolari sulla lastra, i quali tutti si raggirano intorno ad un medesimo centro P (Fig. 10) ora ben determinabile, il **Polo celeste.**

Digitized by Google

14. — Speciale menzione nel novero delle Costellazioni meritano quelle del cosidetto **Zodiaco**, (1) cioè dodici costellazioni che occupano quella zona del cielo, che il Sole, la Luna ed i pianeti nei loro movimenti proprii sogliono percorrere sulla Sfera celeste. I loro nomi sono ricordati nei noti versetti latini: (2)

Sunt Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces.

Per l'uso frequentissimo di questi nomi, anche essi hanno (come i pianeti) ricevuto i loro simboli (3) speciali, come segue:

Ariete (♈), Toro (♉), Gemelli (♊), Cancro (♋), Leone (♌), Vergine (♍) Libra (♎), Scorpione (♏), Sagittario (♐), Capricorno (♑), Acquario (♒), Pesci (♓).

La distribuzione di questa zona in dodici costellazioni sembrava richiesta dalle dodici lunazioni (12 mesi), epperò non fa nessuna meraviglia, che alcune di esse (come il Cancro e il Capricorno) siano poco cospicue. Avremo nei capitoli seguenti ancora molte occasioni di parlare di queste costellazioni e dei loro segni. Entrare qui in ricerche storiche circa la loro origine ed il significato, da taluni annesso ai loro nomi, ci porterebbe troppo in lungo e ci allontanerebbe non poco dallo scopo prefissoci in quest'opera. Del resto per conoscere le costellazioni e distinguerle bene le une dalle altre, non vi è mezzo

(1) Dai Greci chiamato **Κύκλος ζωδιακός** (ciclo di animali). Difatti eccettuato la sola Libra (Bilancia), tutti i nomi rappresentano esseri viventi. Un altro nome **κύκλος ἡλιακός** (ciclo solare) indica che il Zodiaco viene (annualmente) percorso dal Sole.

(2) Di Ausonio (Eclogario). Simili versi più descrittivi si trovano nell'opera citata di Manilio (Astronomicon I, 263 segg.). Cfr. Kepleri, Opera omnia, ed. Frisch. vol. VI, 210.

I nomi corrispondenti greci sono:

Κριών, Ταυρών, Διδυμών, Καρκινών, Λεοντών, Παρθενών, Ζυγών, Σκορπιών, Τοξών, Αἰγών, Ὑδρών, Ἰχθυνών.

(3) Il significato di questi simboli s'indovina senz'altro; soltanto quello della Vergine e del Capricorno offre qualche difficoltà.

Probabilmente il primo è un'abbreviazione del nome greco **Παρθενών ΠΡ**, l'altro del nome **τράγος** [τρ], il quale come **αἰγών** significa capro (capricorno). Alcuni autori vorrebbero vedere un'ala nel segno della Vergine, che si suol rappresentare sulle carte celesti con ale (come un angelo).

Digitized by Google

più efficace che di confrontare le carte (aggiunte in fine) col cielo stellato. Un aiuto in queste ricerche sono certe linee (fittizie) ausiliari, tracciate per alcune stelle principali, che ci conducono facilmente da una costellazione all'altra.

Le linee irregolari che circondano ogni costellazione, indicano i confini di ciascuna. Tutte le stelle che si trovano dentro questi limiti, appartengono alla medesima costellazione.

15. — La necessità di dovere indicare nei vari gruppi una **stella particolare**, fece tosto sentire il bisogno di estendere la nomenclatura anche alle singole stelle. Essendo abbastanza limitato il numero di stelle di prima grandezza (circa 20), la cosa sembra eseguibile; anzi anche per quelle di II grandezza (circa 65) i nomi si trovarono, ma volerli estendere a tutte le stelle visibili sarebbe cosa impossibile. Daremo in fine di questo capitolo una lista dei nomi principali, i più dei quali col loro suono straniero mostrano abbastanza la loro origine araba. (1)

Se anticamente si voleva indicare qualche stella priva d'un tale nome proprio, si soleva fare ricorso alle figure simboliche, e si diceva p. es. la stella di tale grandezza nel piede (sinistro o destro) del Serpentario, nel corno (sinistro) dell'Ariete, nel collo del Cigno, nella coda dell'Orsa minore e così via dicendo. Non essendo poi tutti d'accordo nel disegno di tali figure; di più, cambiando non poche stelle il loro splendore ed essendo non abbastanza definita quella designazione di destra e sinistra, gli equivoci erano inevitabili, finchè un rimedio radicale fu apportato a tutti questi inconvenienti da Giovanni Bayer (2) nel 1603 colla introduzione dell' alfabeto

(1) Così Achernar, Aldebaran, Algol, Betelgeuze, Deneb, Fomalhaut, Rigel, ecc.

Gli Arabi del Medio evo coltivarono molto lo studio dell'Astronomia.

(2) « URANOMETRIA sive omnium asterismorum schemata quinquaginta et unum, in totidem tabulis nova methodo delineata an. 1621 ».

Prima del Bayer un dotto italiano Alessandro Piccolomini (Arcivescovo titolare di Patrasso e Vescovo Coadiutore di Siena), pubblicò nel 1539 un'opera rimarchevole intitolata: Sfera del Mondo, ai quattro libri del quale è annesso un libro Delle Stelle fisse con carte di asterismi. In queste carte le stelle particolari sono notate colle lettere (maiuscole) dell'alfabeto latino. Così per esempio in quella del-

Digitized by Google

greco. La stella più brillante di ciascuna costellazione ricevette la prima lettera α (Alfa), la seguente β (Beta), la terza γ (Gamma), ecc. (1)

Parlando ora della stella α *Ursae maioris*, α *Lyrae*, α *Canis maioris*, α *Aquilae*, α *Bootis*, α *Scorpii*, α *Tauri*, α *Orionis*, ecc., tutti sanno che vengono con ciò indicate le stelle più luminose dell'Orsa maggiore (Dubhe), della Lira (Vega), del Cane maggiore (Sirio), dell'Aquila (Altair), di Boote (Arturo), dello Scorpione (Antares), del Toro (Aldebaran), di Orione (Betelgeuze), ecc. Inoltre queste semplici lettere non imbrogliano tanto le carte celesti, quanto i nomi interi e le figure, ormai più o meno antiquate. Dove l'alfabeto greco per le costellazioni molto ricche di stelle (2) non bastava, si ebbe ricorso all'alfabeto latino colle sue lettere minuscole e maiuscole, lasciando ancora senza segno speciale molte stelle di VI grandezza. D'ulteriori perfezionamenti in questa direzione parleremo nei capitoli seguenti.

16. — Intanto aggiungiamo due tavole: una delle costellazioni, l'altra delle stelle principali e più notevoli di prima e di alcune di seconda grandezza in ordine alfabetico. Ai nomi italiani della prima abbiamo aggiunto in parentesi i nomi latini (di preferenza usati ancora oggidì dagli Astronomi dei vari paesi come nomenclatura internazionale).

Le due colonne (Ascensione retta) e (Declinazione) indicano le coordinate equatoriali [da spiegarsi nel seguente capitolo]. Per mezzo di queste si trova facilmente la posizione di ciascuna sopra una carta celeste qualunque e quindi sul cielo stesso. Il segno di Decl. negativa mostra che la costellazione sta nell'emisferio australe. Se questo numero è maggiore

l'Orsa maggiore (p. 84) le Stelle A, B, C, D, E, F, corrispondono alla nomenclatura ora in uso delle stelle η, α, γ, ζ, ε, β, δ.

Bayer è stato più fortunato, in quanto il suo metodo è stato universalmente adottato.

(1) Un saggio di stelle di varia grandezza abbiamo nella figura (Fig. 5) dell'Ariete: α è di II, β di III, γ di IV, η di V, ϰ di VI grandezza. Vedi anche le figure 4, 6, 7, 8.

(2) La più ricca di tutte le costellazioni del cielo è quella della Nave Argo (nell'emisferio australe), che conta più di quattrocento quaranta stelle visibili ad occhio nudo. Anche l'Orsa maggiore dentro i limiti assegnati a tutto l'asterismo ne contiene circa 230.

Digitized by Google

di 40°, la costellazione resta più o meno invisibile nelle nostre regioni europee. I nomi stampati con caratteri distinti notano le 48 costellazioni di origine più antica, contenute nel libro classico di *Tolomeo*, [1] intitolato « *Almagesto* ».

Nella tavola delle stelle particolari abbiamo conservato i termini tecnici della versione latina. Quando l' ultima colonna contiene due numeri, questo indica che la grandezza della stella oscilla tra i detti numeri. [2]

17.

Num.	NOME ITALIANO (LATINO)	Ascensione retta		Decl.
		ore	gradi	gradi
1	Andromeda.	I	15	40
2	Apode (Apus) (3).	XVI	240	—75
3	Acquario (Aquarius). . . .	XXII-XXIII	340	—10
4	Altare (Ara)	XVIII-XIX	260	—50
5	Antinoo (Antinous) (4). . . .	XIX-XX	290	0
6	Aquila.	XIX-XX	295	10
7	Argo (A. navis) (5)	VIII	120	—30
8	Ariete (Aries)	II-III	35	20
9	Balena (Cetus)	I-II	25	—10
10	Bilancia (Libra)	XV-XVI	230	—15

(1) Claudio Tolomeo (Cl. Ptolemaeus), celebre astronomo greco, decoro della scuola alessandrina in Egitto, fiorì nel secolo II d. C. Egli compendiò la scienza astronomica dell'antichità fino a' suoi tempi in una opera classica intitolata: Μαθηματική σύνταξις (Mathematica constructio), la quale per la sua grande importanza si meritò tosto il titolo di Μεγάλη (grande) anzi di Μεγίστη σύνταξις « Costruzione Massima ». Alla parola μεγίστη gli Arabi prefissero l'articolo Al (Almegiste). Il titolo (sotto il quale l'opera viene comunemente citata) Almagestum, non è altro che la latinizzazione di « Almegiste ».

(2) L'incertezza, se una stella particolare debba annoverarsi piuttosto all'una ovvero all'altra classe (I, II, III... grandezza), dipende da ciò, che gli autori, i quali danno il numero complessivo delle varie classi, spesse volte non combinano fra di loro.

(3) Uccello del Paradiso.

(4) Fa parte dell'Aquila.

(5) In questa grandiosa costellazione si distinguono pure le varie parti della Nave: Albero (*Malus*), Carena (*Carina*), Vela, Poppa (*Puppis*).

Digitized by Google

Num.	NOME ITALIANO (LATINO)	Ascensione retta		Decl.
		ore	gradi	gradi
11	Bolino (Caelum)	IV-V	70	—40
12	Boote (Bootes)	XIV-XV	215	20
13	Camaleonte (Chamaeleon) . .	X-XI	160	—80
14	Cancro (Cancer)	VIII-IX	125	20
15	Cane maggiore (Canis maior)	VI-VII	100	—20
16	Cane minore (Canis minor) .	VII-VIII	112	5
17	Capricorno (Capricornus) . .	XX-XXI	305	—15
18	Cassiopea (Cassiopeia) . . .	XXIV-I	10	60
19	Cavalletto del Pittore (Pictor) .	V-VI	80	—50
20	Cefeo (Cepheus)	XXII	330	65
21	Centauro (Centaurus) . . .	XII-XIII	190	—50
22	Chioma (Coma Berenicis) . .	XII-XIII	185	26
23	Cigno (Cygnus) (1)	XX-XXI	310	45
24	Colomba (Columba)	V-VI	85	—35
25	Compasso (Circinus)	XV	225	—60
26	Cocchiere (Auriga)	V-VI	80	40
27	Coppa (Crater)	XI-XII	170	—15
28	Corona del Nord (C. borealis)	XV-XVI	233	30
29	Corona del Sud (C. australis) .	XVIII-XIX	280	—40
30	Corvo (Corvus)	XII-XIII	185	—20
31	Croce (Crux)	XII-XIII	185	—60
32	Delfino (Delphinus)	XX-XXI	310	15
33	Dorado (Piscis auratus) . . .	V-VI	80	—65
34	Dragone (Draco)	XVII-XVIII	260	60
35	Ercole (Hercules)	XVII	255	30
36	Eridano (Eridanus)	IV	60	—10
37	Fenice (Phoenix)	XXIV-I	10	—50
38	Gemelli (Gemini)	VII-VIII	110	30
39	Giraffa (Camelopardalis) . . .	V-VI	70	70
40	Gru (Grus)	XXII-XXIII	340	—50

(1) Questa bella costellazione ha la forma d'una grande Croce, donde fu talvolta chiamata Croce del Nord, mentre quella universalmente conosciuta si chiama ancora adesso Croce del Sud.

Digitized by Google

NUM.	NOME ITALIANO (LATINO)	ASCENSIONE RETTA		DECL.
		ore	gradi	gradi
41	Iadi (Hyades) (1)	IV-V	65	16
42	Idra (Hydra)	IX-X	140	—10
43	Idro (Hydrus)	II-III	40	—70
44	Indiano (Indus)	XX-XXI	310	—55
45	Laboratorio chimico (Fornax) .	II-III	40	—30
46	Leone maggiore (Leo maior)	X	150	15
47	Leone minore (L. minor) . . .	X	150	35
48	Lepre (Lepus)	V-VI	80	—20
49	Levrieri (Canes venatici) (2) . .	XIII-XIV	200	40
50	Lince (Lynx)	VII-VIII	110	50
51	Liocorno (Monoceros)	VII-VIII	110	—10
52	Lira (Lyra)	XVIII-XIX	280	38
53	Lucertola (Lacerta) (3)	XXII-XXIII	332	45
54	Lupo (Lupus)	XV-XVI	230	—40
55	Macchina pneumatica (Antlia) .	X	150	—35
56	Mensa (Mons Mensae) (4) . . .	VI	90	—80
57	Microscopio (Microscopium) . .	XX-XXI	310	—40
58	Mosca (Musca)	XII-XIII	190	—70
59	Ofiuco (Ophiochus) (5) . . .	XVII-XVIII	260	0
60	Orione (Orion) (6)	V-VI	84	0
61	Orologio (Horologium)	II-III	40	—55
62	Orsa maggiore (Ursa maior)	XI-XII	170	55

(1) Questo gruppo di stellette, intorno alla stella principale del Toro, è diventato celebre pel nesso, che secondo gli antichi la sua comparsa avea col cambiare della stagione, donde Ovidio canta (Fast. V, 166):

Ora micant Tauri septem radiantia flammis
Navita quas *Hyadas* Graius ab imbre vocat.

Il nome è derivato dalla parola greca ὑειν (piovere).

(2) Altri dicono semplicemente Cani da Caccia.

(3) Un altro nome di questa costellazione, cioè Scettro (di Ludovico XIV), è poco usato.

(4) Montagne del Capo di Buona Speranza.

(5) Altri dicono Serpentario, perchè tiene nelle mani il Serpente.

(6) Una delle più belle e conosciute costellazioni della regione equatoriale. La nota figura rappresenta un gigante nell'atto di combattere.

Digitized by Google

Num.	NOME ITALIANO (LATINO)	Ascensione retta		Decl.
		ore	gradi	gradi
63	Orsa minore (Ursa minor) .	XV-XVI	230	80
64	Ottante (Octans)	XXI-XXII	320	—80
65	Pavone (Pavo)	XIX-XX	290	—75
66	Pegaso (Pegasus)	XXIII	345	20
67	Perseo (Perseus)	III-IV	50	50
68	Pesce del Sud (Piscis australis)	XXII-XXIII	340	—25
69	Pesce volante (Volans) . . .	VIII	120	—70
70	Pesci (Pisces) (1)	I	15	15
71	Pleiadi (Pleiades) (2)	III-IV	55	24
72	Poledro (Equuleus)	XXI	153	5
73	Presepio (Praesepium) (3) . . .	VIII-IX	128	20
74	Reticolo (Reticulum)	IV	60	—60
75	Saetta (Sagitta)	XIX-XX	295	18
76	Sagittario (Sagittarius) . . .	XVIII-XIX	280	—25
77	Scarpello (Sculptor) (4)	XXIV	360	—30
78	Scorpione (Scorpio)	XVI-XVII	245	—26
79	Scudo di Sobieski (Scutum) . .	XVIII-XIX	280	10
80	Serpente (Serpens) (5) . . .	XV-XVI	235	10
81	Sestante (Sextans)	X	150	0
82	Squadra (Norma) (6).	XVI	240	—50

(1) Costellazione dello Zodiaco.

(2) A questo bel gruppo di sei stelle, che il popolo suol chiamare col nome significante di Gallinelle (presso il Toro), gli antichi attribuirono simili influssi, come alle Iadi. Dai Greci chiamati Πλειάδες (da πλέω navigare) per la loro importanza pei navigatori, dai Latini Stellae Vergiliae, Stelle di primavera (« A temporis significatione, quod vere exoriuntur... »; Isid. 3, Orig. 70).

Un occhio ordinario vi scorge sei stelle, mentre una vista eccellente ne vede più di dieci. La più lucida (Alcyone) è di III grandezza.

(3) Cumulo di piccole stelle nel Cancro; secondo Plinio le due stellette vicine (ν e ξ) si chiamarono Somarelli: (« Sunt in signa Cancri duae stellae parvae, aselli appellatae... nubecula, quam praesepia appellant ».

(4) Altri dicono Scultore (la figura rappresenta gli attrezzi dello scultore).

(5) Vedi la nota al nome di Ofiuco.

(6) Col Regolo.

Digitized by Google

NUM.	NOME ITALIANO (LATINO)	ASCENSIONE RETTA		DECL.
		ore	gradi	gradi
83	Telescopio (Telescopium) . . .	XVIII-XIX	280	—52
84	Toro (Taurus)	IV-V	65	20
85	Triangolo del Nord (T. boreale)	II	30	30
86	Triangolo del Sud (T. australe).	XV-XVI	235	—65
87	Tucano (1)	XXIV	360	—65
88	Vergine (Virgo)	XII-XIII	190	0
89	Volpe (Vulpecula) (2)	XX-XXI	305	25

18. — Oltre le *costellazioni* anzidette vi ha ancora una ventina di altre *più recenti*, che si trovano qua e là citate; basti qui enumerare i nomi principali insieme colla costellazione dalla quale furono staccate: (3)

NUM.	NOME ITALIANO (LATINO)	PARTE DELLA COSTELLAZIONE
1	Arpa di Giorgio (Harpa Georgii).	Argo
2	Bussola (Pyxis nautica)	Argo
3	Cuore di Carlo (Cor Caroli)	Levrieri
4	Gatto (Felis).	Idra
5	Gigli di Ludovico (Lilia Ludovici XIV) . .	Ariete
6	Livello (Libella)	Triangolo del Sud
7	Log (Lochium)	Argo
8	Macchina elettrica	Scarpello
9	Mietitore (nom. Messier)	Cefeo e Cassiopea
10	Monte Menalo (M. Maenalus)	Boote
11	Mosca boreale (Musca borealis)	Ariete
12	Nuvole di Magellano (Nubeculae)	Idro
13	Officina tipografica	Argo
14	Pallone aereostatico (Globus aereus) . . .	Pesce del Sud
15	Quadrante murale (Quadrans)	Boote

(1) Uccello americano chiamato anche Mangiapepe.
(2) Coll'Oca in bocca.
(3) Cfr. nota 8, pag. 8.

Digitized by Google

Num.	NOME ITALIANO (LATINO)	PARTE DELLA COSTELLAZIONE
16	Quercia di Carlo (Robur Caroli)	Argo
17	Renna (Cervus tarandus)	Cefeo e Cassiopea
18	Scettro di Brandenburgo.	Eridano
19	Telescopio di Herschel	Cocchiere
20	Toro di Poniatowski	Ofiuco
21	Trofeo di Federico (Honores Frederici) . .	Andromeda

19. — I nomi proprii delle Stelle più rinomate sono le seguenti:

Num.	NOME	COSTELLAZIONE	GRANDEZZA
1	Achernar(1)	α Eridani	I
2	Aldebaran.	α Tauri	I
3	Algenib	α Persei	II
4	Algol (*variabile*) . . .	β Persei	II–IV
5	Antares.	α Scorpii	I–II
6	Arcturus	α Bootis	I
7	Atair (Altair)	α Aquilae	II–I
8	Bellatrix	γ Orionis	II
9	Betelgeuze (*variabile*) . .	α Orionis	I
10	Canopus.	α Argo (navis)	I
11	Capella.	α Aurigae.	I
12	Castor (2)	α Geminorum	II–I
13	Deneb	α Cygni	II–I
14	Denebola	β Leonis	II
15	Fomalhaut.	α Piscis australis . . .	I–II
16	Gemma.	α Coronae bor.	II
17	Pollux	β Geminorum	I–II
18	Procyon	α Canis minoris. . . .	I

(1) Questa e la stella Canopus sono invisibili nell'Europa; Fomalhaut si vede in Europa soltanto nelle regioni australi.

(2) Questa stella apparisce ad occhio nudo come una sola, di II (quasi I) grandezza. Osservata col telescopio si decompone in due stelle, vicinissime l'una all'altra, delle quali la più fulgente è della grandezza 2,7; l'altra di 3,7.

Digitized by Google

Num.	NOME	COSTELLAZIONE	Grandezza
19	Regulus.	α Leonis maioris . . .	I-II
20	Rigel	β Orionis	I
21	Sirius	α Canis maioris. . . .	I
22	Spica	α Virginis.	I
23	Vega	α Lyrae	I

20. — Tutta l'anzidetta nomenclatura, oltrechè riempie il cielo stellato con vita e poesia, porta l'innegabile vantaggio di facilitare assai lo studio dell'**Astrognosi**,[1] l'orientazione sulla sfera celeste. Qualunque sia l'origine ed il significato storico di certi nomi; quantunque potrebbesi discutere sulla convenienza della scelta fatta dai nostri antenati, sarebbe un errore di volerli ora cambiare. Come i nomi delle città e provincie di un paese, delle piazze e vie di una città, non possono in un momento cambiarsi, senza cagionare indicibile confusione, così dicasi pure degli asterismi e costellazioni del cielo. L'obbiezione che gli allineamenti delle varie costellazioni abbiano poco e niente di somiglianza colla figura degli esseri, dei quali portano il nome, sembra qui fuori di proposito. Siccome poco importa, che una persona, una regione, una cosa venga chiamata così o così, purchè il nome, una volta dato, la distingua da altri individui, da altre cose; così dicasi lo stesso della nomenclatura degli oggetti celesti. Non farà quindi meraviglia, che vari tentativi, di cambiare quest'ordine di cose, non abbia mai ottenuto lo scopo prefisso.[2]

(1) Ἀστρόγνωσις (scienza degli asterismi) suol chiamarsi questo ramo speciale dell'Astronomia.

(2) Julius Schiller di Augusta (Augsburg), † 1627, amico del lodato Baver (num. 15), pubblicò un atlante celeste, nel quale le figure pagane e profane erano sostituite da nomi cristiani. I dodici segni dello Zodiaco erano occupati dai dodici Apostoli: S. Paolo prendeva il posto di Perseo, l'Orsa maggiore (il Carro) era diventata la barca di S. Pietro, Orione S. Giuseppe, ecc. L'opera, del resto non senza merito, è intitolata: Coelum stellatum christianum, Augustae Vindelicorum, 1627.

Alcuni moderni erroneamente asseriscono che l'autore sia stato un membro dell'ordine di Sant'Agostino, malamente interpretando il suo titolo Augustanus (di Augsburg); altri poi non meno erroneamente

Digitized by Google

21. — In quanto al **numero delle stelle**, visibili ad occhio nudo, è da notarsi che questo, generalmente parlando, è creduto maggiore di ciò che è in realtà. Il professore HEIS di Münster, dotato d'un occhio eccellente, ha fatto un computo esattissimo di tutte le stelle visibili (ad occhio nudo) nell'Europa centrale, registrate in un bellissimo Atlante, accompagnato da un catalogo. (1) In quest' ultimo il numero complessivo (pag. 179) si compone così: 13 Stelle di I grandezza, 58 di II, 152 di III, 303 di IV, 854 di V, 3974 di VI, che fa la somma totale di 5354; aggiungendo 41 stelle variabili avremo 5395.

Supponendo una simile distribuzione di stelle nel cielo australe (per noi) invisibile, ovvero contando in modo somigliante le stelle del Sud, (2) si ottiene per tutta la sfera celeste un numero tondo di 7000 incirca.

22. — Questo numero limitato potrebbe sembrare a prima vista in contraddizione con ciò che dice l'opinione comune (apparentemente confermata dalla stessa Sacra Scrittura),(3) che le stelle del cielo sono semplicemente innumerevoli. Per sciogliere questa difficoltà notiamo in primo luogo, che in questo computo si parla di stelle individuali, escludendo un buon numero di gruppi stellari, che talvolta sono così addensati, che all'occhio (non armato di telescopio) sembrano piccole nuvolette chiamate nebulose.

ne fanno senz'altro un Gesuita, probabilmente correggendo le lettere D. I. (Dicasterii Iurisconsultus), affisse al suo nome, in S. I. (Societatis Iesu). Cfr. Wolf, Geschichte der Astronomie, München, 1877, pag. 425, nota 13.

Ancora meno felice è stata l'idea del prof. E. Weigel di Jena, di introdurre invece delle figure antiche, gli stemmi delle varie case regnanti. Cfr. « Erhardi Weigelii sphaerica, Euclidea methodo conscripta. Accessit globorum heraldicorum ipsiusque pancosmi descriptio et usus. Jenae, 1688 ».

(1) ATLAS COELESTIS NOVUS. Stellae per mediam Europam solis oculis conspicuae secundum veras lucis magnitudines e coelo ipso descriptae ab Eduardo Heis. Coloniae ad Rhenum, 1872, 12 tavole in-fol. con un Catalogo (Catalogus Stellarum) in-8° con 181 pagine.

(2) Un lavoro simile a quello dello Heis ha fatto il dottore Carl Behrmann per il resto del cielo: ATLAS DES SUEDLICHEN HIMMELS. Leipzig, 1874, 7 tavole con un Catalogo in-8° di 81 pagine.

(3) Genes. XV, 5; Ierem. XXXIII, 22. Cfr. Ps. CXLVI, 4; Iob XXXVIII, 37.

Digitized by Google

Fig. 11. Parte della Via lattea.

Anzi vi è quella nebulosa sterminata, nota a tutti sotto il nome di **Via lattea**,[1] che come una grande strada attra-

(1) Dai Greci chiamata γαλαξίας ovvero κύκλος γαλακτικός (da γάλα latte) donde anche i Latini parlano del circulus galacticus (it. galattico).

Digitized by Google

versa tutto il cielo, seminata di migliaia e milioni di piccole stelle, le quali l'occhio umano, senza l'aiuto di strumenti, stenta invano di decifrare. La fig. 11 ne può dare un'idea; essa è ottenuta per mezzo della fotografia telescopica. Dove l'occhio nudo vede soltanto un debole bagliore in quelle regioni, il telescopio risolve queste nebbie apparenti in una quantità di stelle, come il microscopio i granelli della sabbia del mare. Crescendo il telescopio, col suo potere penetrante, si aprono sempre nuove vedute di stelle; di modo che non soltanto rimane vero che le stelle sono innumerevoli, ma un abisso dello spazio conduce ad un altro: *abyssus abyssum invocat*! [1].

CAPITOLO III.

COORDINATE DELLA SFERA CELESTE

PRENOZIONI.

23. — Per determinare la posizione di un punto nello spazio, per esempio, della punta P d'un candelabro in una camera (Fig. 12), si cala un perpendicolo P A sul pavimento, misurando la lunghezza del medesimo P A $= z$, si misura poi la distanza del punto A dalle pareti Z O X e Z O Y per mezzo delle linee A B $\perp$ O X ed AC $\perp$ OY. Con queste tre misure prese O B $=$ A C $= x$, B A $=$ O C $= y$, A P $=$ OD $= z$ sarà possibile, partendo dal punto O (corno della camera), ritrovare il punto P; basta cioè seguendo O X trovare B, seguendo B A $\perp$ O B trovare A, poi seguendo la perpendicolare A P trovare P.

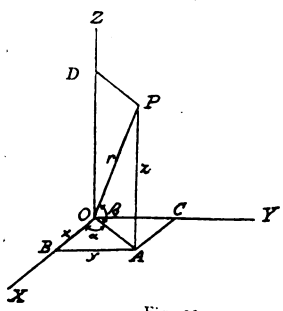


Fig. 12.

Un altro metodo sarebbe di stendere un filo P O direttamente verso il punto O e di misurarne la lunghezza O P $= r$, misurare poi l'angolo P O A $= \beta$ (che fa P O colla sua proie-

(1) Salmo XLI, 8.

Digitized by Google

zione O A), e similmente l'angolo A O X = α (che fa la stessa proiezione colla linea O X). Anche con questi tre elementi α, β, r, partendo sempre dal punto O, ritroviamo il punto P, perchè l'angolo α ci fa trovare (nel piano X O Y) la direzione della linea O A, l'angolo β quella di O P nel piano O A P, perpendicolare sul piano X O Y; finalmente la r = O P ci conduce sulla direzione di O P precisamente al punto P in quistione.

24. — Lo stesso modo di procedere viene adottato dai Geometri, se vogliono determinare la posizione di un punto qualunque nello spazio relativamente ad un punto O. Essi coordinano in questo punto tre assi ortogonali,[1] O X, O Y, O Z che formano tra sè gli angoli retti X O Y = Y O Z = Z O X = 90°. O X viene chiamato l'asse delle ascisse (sulla quale si prende, taglia O B = x), X Y l'asse delle ordinate (ordina la O C = B A = y), O Z l'asse delle applicate (sulla quale si applica la lunghezza O D = A P = z). Ecco quello che essi chiamano un Sistema di Coordinate rettilinee ortogonali. Colle tre quantità, cioè coll'Ascissa x, coll'Ordinata y e coll'Applicata z, il punto P è determinato relativamente al punto O (origine delle coordinate).

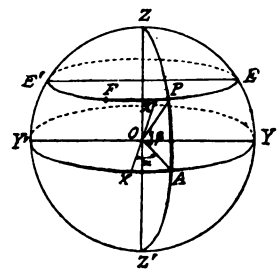


Fig. 13.

Adoperando il secondo metodo, di misure angolari, avremo un **Sistema di Coordinate angolari**, ed è questo il sistema che si applica più facilmente alla determinazione di un punto della superficie di una sfera qualunque e quindi anche della Sfera celeste.

25. — Sia Z Z' (Fig. 13) il diametro di una sfera qualunque, generata dalla rotazione del semicerchio Z Y Z'. Se il punto Y è equidistante dai punti Z e Z', ovvero se l'arco Y Z = arco Y Z' = 90°, il punto Y descriverà, rotando intorno a Z Z', il circolo Y X Y' X', il piano del quale passa per il centro O della sfera; il detto circolo sarà quindi maggiore di qualunque

(1) Da ὀρθός (retto) e γωνία (angolo) viene la parola latina ortogonalis (rettangolare). Se gli assi facessero un angolo maggiore o minore di 90° si avrebbe un sistema di Coordinate oblique (poco usate nell'Astrometria).

Digitized by Google

altro circolo (p. es. E P F E', descritto da un altro punto qualunque E del semicerchio Z E Y Z' intorno all'asse Z Z'). Donde si vede facilmente che tutti i circoli, il piano dei quali passa per il centro della sfera, sono circoli massimi della medesima [con raggi uguali]; qualunque altra sezione piana della sfera taglierà la superficie in un circolo minore. Il diametro (Z Z') che sta perpendicolare sopra un circolo massimo (X Y X' Y') si chiama il suo asse, i punti estremi (Z e Z') i suoi poli. Si noti inoltre che i piani di due circoli massimi diversi (come Y Z ed Y A) s'intersecano sempre in una linea retta (Y Y'), diametro della sfera, che divide i due circoli in quattro semicerchi.

Ora per determinare la posizione di un punto qualunque P della sfera, basterà riferirlo al piano di un circolo massimo qualunque X Y X'Y' come piano fondamentale, concepire un secondo circolo massimo che passi per P, il piano del quale Z P A Z' stia perpendicolarmente sul primo (passi quindi pei poli Z e Z' del circolo fondamentale): allora fissando sul circolo fondamentale un punto di partenza X e congiungendo i punti X, A e P rispettivamente col centro O, avremo le Coordinate angolari, che si chiamano pure **Coordinate sferiche**, del punto P; cioè $\sphericalangle X O A = \sphericalangle \alpha$; $\sphericalangle A O P = \sphericalangle \beta$ ed il raggio vettore O P uguale al raggio della sfera.

Siccome poi nelle misure astrometriche ordinariamente si prescinde dalla distanza di un astro, basterà sapere la direzione O P del raggio visuale di una stella P; quindi soltanto due coordinate (α e β) vengono in considerazione.

Art. I. — Sistema di Coordinate alt-azimutali riferite al piano dell'Orizzonte.

26. — La parola **Orizzonte** (latino Horizon), derivata dal greco,[1] significa i confini tra Cielo e Terra. Questi possono essere assai ristretti per uno spettatore del Cielo a cagione

(1) Ὁρίζω da ὅρος (termine); κύκλος ὁρίζων nominarono i Greci quel circolo, tutto intorno, che sembra costituire i confini tra il globo terrestre e la cupola celeste sovrastante.

Digitized by Google

degli oggetti terrestri circostanti (montagne, edifizi, alberi, ecc.). In questo senso volgare si parla di un orizzonte ristretto, limitato, impedito.

Un orizzonte liberissimo per la contemplazione del cielo offre l'alto mare, dove la vista non viene impedita da nessun oggetto terrestre, e dove il livello del mare traccia tutt'intorno un circolo orizzontale « terminatore » tra il Cielo e la Terra, la Sfera celeste e le acque dell'Oceano.

Questo circolo divide la Sfera celeste in due emisferi sensibilmente uguali, l'uno visibile sovrastante, l'altro invisibile a cagione della Terra che, ad onta della sua figura globulare, a foggia d'una sterminata pianura, si stende intorno.

Un filo a piombo F P (Figura 14) [strumento assai primitivo, ma di grande importanza nell'Astrometria], sta perfettamente perpendicolare alla superficie delle acque tranquille, e quindi anche del suddetto piano dell' **Orizzonte apparente.** Basta perciò applicare al medesimo una retta orizzontale P H ⊥ F P e farla girare intorno al perpendicolo F P per determinare un **piano artificiale orizzontale**, che prolungato indefinitamente fa lo stesso servizio, di indicare sulla Sfera celeste quel circolo massimo, che si chiama orizzonte celeste apparente, il piano del quale si concepisce come tangente alla superficie del globo terrestre.

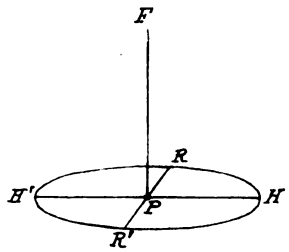


Fig. 14.

Un piano parallelo all'orizzonte apparente, immaginato per il centro della Terra e prolungato fin all'incontro della Sfera celeste, chiamasi **Orizzonte razionale.** Esso è proprio quello che costituisce il piano fondamentale del primo sistema delle Coordinate celesti.

Per la relativa piccolezza però del raggio terrestre (cf. n. 4) rispetto alla distanza delle Stelle fisse, nelle misure pratiche di queste, un orizzonte qualunque artificiale può servire, non soltanto come orizzonte apparente, ma anche come orizzonte razionale.(1)

(1) Non entriamo qui in altri particolari di questa cosa, per non complicare inutilmente la quistione, che ci occupa presentemente. Tutto sarà spiegato meglio a suo luogo.

Digitized by Google

27. — Il filo a piombo, prolungato indefinitamente in su ed in giù, forma l'asse dell'orizzonte razionale e determina sulla Sfera celeste i due poli del circolo orizzontale. Il superiore si chiama **Zenit**, l'inferiore **Nadir.** (1) Qualunque circolo massimo della Sfera celeste, che passa per questi punti, sta perpendicolarmente sul piano dell'Orizzonte e viene quindi chiamato **Circolo verticale.**

Premesso questo, sarà facile di applicare le cose generali esposte (al n. 25) al nostro caso particolare. Il circolo massimo H X H′ (Fig. 15) rappresenti l'Orizzonte: per conoscere la posizione relativa del raggio visuale O P, basterà immaginare per lo Zenit Z un circolo verticale Z P A, e poi determinare l'angolo P O A, che misura l'elevazione angolare (l'**altezza**) di O P sopra la sua proiezione O A. La conoscenza dell'altro angolo A O X nel piano dell'Orizzonte stesso, cioè l'angolo che fa la linea O A con un altro raggio qualunque O X del circolo orizzontale dipenderà unicamente dalla determinazione di O X. Questo angolo suol chiamarsi angolo azimutale o semplicemente l'**Azimut** (2) del punto P. Il sistema chiamasi perciò anche **Sistema altazimutale.**

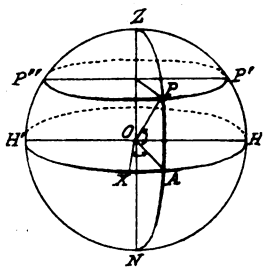


Fig. 15. Sfera parallela.

28. — Tutti i punti situati sopra un circolo minore P′ P P″, parallelo all'Orizzonte, hanno evidentemente la stessa altezza, un tal circolo parallelo dagli Arabi venne chiamato Almucantarat.

La misura degli angoli A O X, A O P, ecc., suole esprimersi per mezzo di gradi, minuti e secondi, che indicano la parte aliquota dell'arco rispettivo, ovvero (trattandosi di archi di circoli massimi della medesima sfera) semplicemente per mezzo degli archi rispettivi X A, A P, ecc.

Invece di un angolo (A O P), nelle misure come nel calcolo, si adopera molte volte il suo angolo complementare (P O Z = 90° — ∢ A O P). Z O P chiamasi **Distanza zeni-**

(1) Nomi arabi che indicano il sommo vertice del cielo ed il punto diametralmente opposto.

(2) Parola araba.

Digitized by Google

tale del punto P, la quale, essendo il Complemento dell'altezza, viene pure detta con nome più breve la **Coaltezza**[1] del punto P.

Rigorosamente parlando, tanti saranno i piani orizzontali diversi, quanti perpendicoli diversi possono calarsi intorno al globo terrestre. Essendo poi la Terra un globo sensibilmente perfetto,[2] tutti i fili a piombo (perpendicolari sui piani tangenti) sono diretti verso il centro della Terra. La direzione di un filo a piombo coincide quindi col raggio terrestre rispettivo, che forma il suo prolungamento verso il centro della Terra.

ART. II. — COORDINATE EQUATORIALI.

29. — Se l'asse N Z del circolo massimo H A X H′ (Fig. 15) rappresentasse quello che si chiama per eccellenza l'**Asse del mondo** (della Sfera celeste), cioè quell'asse, intorno al quale tutta la Sfera compie un vero giro, una vera rotazione (almeno in apparenza), il circolo massimo H A H′ sarebbe l'**Equatore celeste.** La coordinata ♈ X O A (supposto che il punto X sia il punto iniziale, dal quale si comincia il computo dell'angolo situato nel piano fondamentale), si chiamerebbe l'**Ascensione retta** del punto P, l'altra coordinata ♈ A O P la sua **Declinazione**,[3] l'angolo Z O P, corrispondente all'arco Z P, complemento di A O P, **Codeclinazione** ovvero **Distanza polare.** Il circolo massimo Z P A N, e con questo tutti i circoli massimi che passano pei due poli di rotazione Z e N, si chiamano **Circoli di declinazione**, perchè l'arco (P A) d'un tal circolo dà la misura della Declinazione del punto P. Un circolo minore qualunque P′ P P″ parallelo all'Equatore, chiamasi **Circolo parallelo** per antonomasia (senz'aggiunta).

30. — Per un osservatore terrestre, che si trovi ad uno dei poli del globo terrestre, le Coordinate equatoriali

(1) Come suol dirsi Coseno, Cotangente, ecc.

(2) Un argomento di questo, come già notò Aristotile (De Coelo, lib. 2, c. 7) troviamo nelle eclissi della Luna, nelle quali vediamo l'ombra rotonda della Terra proiettarsi sulla Luna. Che la figura terrestre non sia una sfera in tutto il rigore della parola, anche se avesse una superficie tutta livellata, lo mostreremo più sotto.

(3) Perchè indica quanto il punto in quistione declina dal piano equatoriale.

Digitized by Google

ed orizzontali veramente coinciderebbero. Il suo Zenit sarebbe allo stesso tempo Polo della Sfera celeste rotante, il suo Orizzonte razionale rappresenterebbe pure l'equatore celeste. Se conta dallo stesso punto gli Azimut e le Ascensioni rette di una Stella determinata, questi saranno identici. Lo stesso dicasi dell'Altezza e Declinazione. Questo però è un caso particolare ed eccezionale. La posizione della Sfera celeste relativamente ad un tale Orizzonte, parallelo o coincidente coll'Equatore, si nota col nome particolare di **Sfera parallela.**

Un altro caso particolare si avrà, quando l'asse del mondo P P′ sta nello stesso piano dell'Orizzonte (Fig. 16). Allora il piano dell'Equatore E Z Q N sarà un piano Verticale, con esso tutti i (piani) Paralleli A B H, A′ B′ H′ ecc. stanno dritti sopra il piano orizzontale, per la qual ragione tale posizione della Sfera si distingue col nome di **Sfera dritta** (Sphaera recta). Tale è veramente la posizione della Sfera per tutti gli osservatori che trovansi sull'Equatore della Terra (cioè sopra il circolo massimo del globo terrestre formato dall'intersezione del piano equatoriale del Cielo).

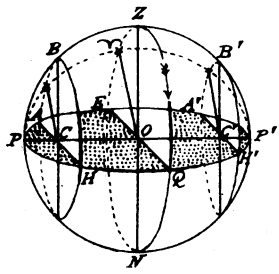


Fig. 16. Sfera dritta.

Una stella qualunque, e così il punto iniziale ♈ (**Punto d'Ariete**) delle Ascensioni rette, si alza a cagione della rotazione della Sfera sull'orizzonte, rimanendo però sempre nello stesso piano perpendicolare. Tutte le stelle che si levano allo stesso tempo sull'orizzonte in A E A′, ecc.[1] hanno la stessa Ascensione retta, corrispondente all'elevazione di ♈ sull'Orizzonte, ossia all'arco ♈ E, ovvero all'angolo ♈ O E. Ecco la ragione perchè questa Coordinata ha ricevuto il nome di Ascensione retta.

31. — Per tutti gli osservatori che si trovano sulla Terra tra il Polo e l'Equatore terrestre, la Sfera celeste ha la posi-

(1) Lo stesso poi fanno ivi tutte le stelle che si trovano sullo stesso Circolo di Declinazione (P ♈ P′ ecc.).

Digitized by Google

zione di una **Sfera obliqua**, cioè il piano dell'Equatore A E Q (Fig. 17), e quindi tutti i piani paralleli, mostrano una certa inclinazione identica ($\measuredangle$ A O S) verso il piano orizzontale. L'angolo A O S, corrispondente all'arco A S, indica l'altezza dell'Equatore.

Conseguentemente uno dei Poli P' (per noi Europei il polo Sud) resta sempre invisibile sotto l'Orizzonte, l'altro invece P (per noi il polo Nord) [1] ha una certa altezza P O N, chiamata semplicemente **Altezza polare**. Essendo poi Z O $\perp$ N S e P P' $\perp$ A Q, ne segue che l'altezza polare è uguale alla latitudine geografica ($\measuredangle$ P O N = $\measuredangle$ Z O A); [2] di più, che la distanza zenitale o coaltezza del Polo è uguale all'altezza dell'Equatore ($\measuredangle$ P O Z = $\measuredangle$ A O S). Le Coordinate equatoriali non vengono in nessuna maniera modificate od alterate da queste diverse posizioni della Sfera. [3]

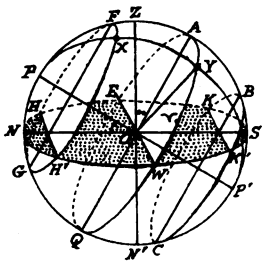


Fig. 17. Sfera obliqua.

32. — Dei Circoli paralleli il solo Equatore (un circolo massimo) viene diviso dall'Orizzonte in due parti uguali E A W = W Q E. Da ciò segue che il Sole trovandosi sopra l'Equatore percorre col giro diurno apparente ed uniforme della Sfera celeste nello stesso tempo la parte superiore ed inferiore: giorno e notte avranno la stessa durata. Ecco perchè il circolo chiamasi Equatore (lat. Aequator), poichè rende

(1) Del polo artico ed antartico (num. 12) dice Virgilio (Georg. I. 242):

Hic vertex nobis semper sublimis; at illum
Sub pedibus Styx atra videt Manesque profundi.

(2) La latitudine geografica sulla Terra viene indicata dallo stesso angolo, compreso tra l'Equatore ed il parallelo rispettivo, col vertice nel centro della Terra. L'angolo Z O A si potrebbe anche chiamare Distanza zenitale dell'Equatore.

(3) Si noti nella figura 17 come le stelle che trovansi allo stesso tempo nell'orizzonte, nei punti H, K, avranno la stessa ascensione obliqua, che sarà poi determinata per l'ascensione retta del rispettivo punto equatoriale E. Questo mostra l'origine della distinzione di queste due ascensioni; del resto l'ascensione obliqua è ora poco usata.

Digitized by Google

uguali giorno e notte, trovandosi il Sole sopra di esso. Lo stesso indica l'altro nome di Circolo equinoziale. Il punto poi, dove si trova il Sole al tempo dell'Equinozio di primavera sul medesimo circolo, è il punto iniziale delle Ascensioni rette, detto pure **Punto equinoziale** ovvero **Punto d'Ariete** (col segno rispettivo ♈). L' ultimo nome indica che al principio dell'Astronomia scientifica greca (nel secolo IV a. C.) questo punto trovavasi sul Circolo di Declinazione della detta Costellazione. (1)

L' Ascensione retta ♈ Y d' una stella (X) suol contarsi sempre nel senso delle costellazioni zodiacali dall' Ariete verso il Toro, ecc. da 0° fino a 360°. La declinazione X Y dall'Equatore 0° fino (al polo Nord) a 90°; un segno negativo indica una declinazione verso il polo Sud. L'Equatore divide pure la Sfera celeste in due emisferi. Quello verso il polo artico chiamasi Emisferio boreale, quello verso il polo antartico, Emisferio australe.

Art. III. — Coordinate eclitticali.

33. — Un terzo sistema di Coordinate celesti viene costruito sopra quel circolo massimo della Sfera celeste che viene percorso dal Sole nel suo moto annuo. Siccome non si vedono simultaneamente il Sole e le stelle fisse, vi è qualche difficoltà di tracciare esattamente tra le stelle questo cammino del Sole. Gli antichi ebbero perciò ricorso al fenomeno abbastanza frequente delle eclissi totali della Luna. Allora la Terra trovandosi esattamente frapposta tra il Sole e la Luna (ora ben visibile tra le stelle anche piccole) la direzione di un diametro del circolo solare (2) era data; un'altra osservazione ne diede quella di un secondo; con questo la posizione del circolo massimo eclitticale, sul quale si sposta il Sole e nel quale si osservano le eclissi era già abbastanza indicato.

(1) Alcuni autori credono, che sia stata ancora più precisamente la stella γ dell'Ariete (Cfr. fig. 5, n. 11).

(2) Ὁδὸς ἐκλειπτική (via eclitticale), Κύκλος ἡλιακός (Circolo solare) ovvero Λοξὸς κύκλος (Circolo obliquo), Via Regia (del Sole, re dei pianeti), Orbis magnus, ecc., sono pur nomi dati a questa apparente Orbita solare.

Digitized by Google

Moltiplicando le osservazioni si ottenne una precisione sempre maggiore. A cagione della detta determinazione, il circolo ha ricevuto il nome di **Eclittica.** (1)

Il suo piano (Fig. 18) A B C D, intersecandosi con quello dell'Equatore A E C Q nella linea A C, forma con esso un angolo B O E di (23° 27′ incirca), che misura la cosidetta **Obliquità dell'eclittica.** Lo stesso angolo formano i due assi rispettivi N S e N′ S′, cioè $\measuredangle$ N O N′ = $\measuredangle$ E O B. Il punto A sarà il già noto punto equinoziale (Punto d'Ariete).

Ora per riferire un punto qualunque X della Sfera celeste al detto piano eclitticale, basta far passare per esso e pel polo N dell' Eclittica un circolo massimo, il quale incontri il piano dell'Eclittica nel punto L; i due archi A L ed X L determinano la posizione, l'angolo A O L che corrisponde al primo, chiamasi **Longitudine** di X, l'altro X O L corrispondente al secondo, **Latitudine.** Il circolo stesso N L come tutti i circoli passanti pei poli dell' Eclittica, che intersecano conseguentemente il piano dell'Eclittica ed il suo circolo sotto un angolo retto, diconsi Circoli delle Latitudini, contandosi sopra di esse le Latitudini celesti da 0° a 90° verso Nord (N), da 0° a —90° verso Sud (S). L'angolo N O X, complemento di X O L sarà la **Collatitudine** del punto X.(2)

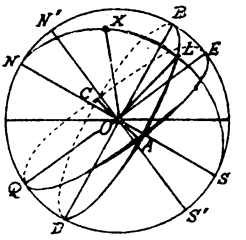


Fig. 18.

34. — Nel secolo IV prima dell'èra nostra, quando la suddetta nomenclatura fu introdotta e confermata dagli astronomi e filosofi della Grecia, l'orbita solare passando attraverso le costellazioni del Zodiaco (num. 14) intersecava l'Equatore nella costellazione dell'Ariete, donde il punto equinoziale A, cioè quel punto, dove il Sole nel suo cammino da D verso L attraversò il circolo equatoriale, fu chiamato Punto d' Ariete, marcato col noto segno ♈. Ai punti E, C, D distanti da A ri-

(1) Il nome Eclittica (lat. ecliptica) è evidentemente derivato dal greco ἔκλειψις (defectus, oscurazione, eclisse ovvero ecclissi).

(2) Non sarà forse superfluo di notare qui la differenza tra la Latitudine celeste e la Latitudine geografica. Quest'ultima trova il suo termine analogico sulla Sfera celeste piuttosto nella Declinazione del II Sistema.

Digitized by Google

spettivamente 90°, 180°, 270° corrispondevano quindi le costellazioni ed i segni rispettivi del Cancro (♋), della Libra (♎) e del Capricorno (♑). Ai giorni nostri (per un fenomeno da spiegarsi più tardi, cioè per la **Precessione del punto equinoziale**), questo non è più il caso. Il punto d'intersezione dell'Eclittica coll'Equatore, dal quale si contano le Ascensioni rette e le Longitudini (da 0° a 360°) si trova nella costellazione dei Pesci. Nondimeno la tradizione astronomica ha conservato il nome Punto d'Ariete per quel punto equinoziale, dove trovasi il Sole al cominciar di Primavera.

Si divide poi, non badando più alle 12 Costellazioni, tutto il circolo eclitticale in 12 parti uguali, ciascuno di 30°, ed a quelle divisioni si assegnano i simboli rispettivi nel modo seguente:

♈	♉	♊	♋	♌	♍
0° .... 30° .... 60° .... 90° .... 120° ... 150° ... 180°					

♎	♏	♐	♑	♒	♓
180° ... 210° ... 240° ... 270° ... 300° ... 330° ... 360°					

Da ciò segue, che quando si dice il Sole è entrato nel segno p. es. del Leone, questo indica che ha passato la Longitudine di 120°, che una volta coincideva colla costellazione del Leone; ora invece trovasi nel Cancro. Al Zodiaco così inteso potrebbe darsi il nome di **Zodiaco razionale** [1] per distinguerlo dall'antico apparente. Speciale menzione meritano i quattro punti corrispondenti al principio dei segni ♈, ♋, ♎, ♑ ossia alla longitudine di 0°, 90°, 180°, 270°. Arrivato il Sole nel I e III, e trovandosi esso sull'Equatore, il giorno e la notte sono uguali; quindi il **punto equinoziale** ♈ segna l'Equinozio di primavera, ♎ quello dell'autunno. Arrivato il Sole in ♋, la sua declinazione verso Nord è arrivato al suo massimo valore. Questo fenomeno chiamasi **Solstizio**, [2] ♋ segna il solstizio d'estate, ♑ quello dell'inverno (dove accade lo stesso, ma in senso contrario). I due punti rispettivi chiamansi **Punti solstiziali**.

(1) Trovo questo termine tecnico già suggerito dal P. Riccioli S. J. nella sua Opera Almagestum novum, Bononiae, 1651, I, 20.

(2) Dal latino Solstitium, dallo stare apparente del Sole nel suo cammino verso Nord.

Digitized by Google

COROLLARIO I. — MODIFICAZIONI DELLE COORDINATE CELESTI COLL'INTRODUZIONE DEL MERIDIANO.

35. — Ritornando alla figura 17, si vede come l'Equatore A Q colla sua intersezione dell'orizzonte in E W, nota in esso due punti diametralmente opposti, uno (E) verso Est, l'altro (W) verso West, (1) la proiezione dell'asse equatoriale sullo stesso piano, indicata dalla linea N S, ne nota due altri (N) verso Nord e (S) verso Sud. Questi quattro punti sogliono chiamarsi i quattro **Punti Cardinali** dell'Orizzonte. I due diametri E W ed N S intersecandosi in O (centro della Sfera) sotto un angolo retto, sono allo stesso tempo le linee di intersezione coll'orizzonte di due piani verticali importanti, dei quali uno chiamasi il **Primo Verticale**, (2) l'altro il **Meridiano**, l'uno diretto da Est verso Ovest, l'altro da Nord verso Sud.

36. — **Il Meridiano**, di uso continuo nell'Astrometria, può dunque semplicemente definirsi il piano d'un circolo massimo della Sfera celeste, che passa per lo Zenit (dell'osservatore) e per uno dei Poli. (3) L'intersezione del medesimo piano col globo terrestre, traccia su questo il Meridiano terrestre. Il Meridiano essendo legato allo Zenit dell'osservatore terrestre, cambia continuamente posizione tra le Stelle, o piuttosto supponendo noi (secondo l'apparenza) la Terra ferma, ed il Cielo mobile intorno all'asse equatoriale, vediamo il Sole e le Stelle levarsi verso Est sopra l'orizzonte, percorrere il Parallelo rispettivo, e tramontare verso Ovest. Siccome poi il Meridiano divide la parte dell'Equatore e di tutti i Paralleli, che stanno sopra l'orizzonte (l'arco diurno), in due parti uguali (due archi semidiurni), un astro qualunque sarà arrivato alla sua Altezza massima sull'orizzonte (alla **Culminazione superiore**), quando trovasi nel piano del Meridiano. Quando il Sole sta nel Meridiano, avremo

(1) Preferiamo il segno convenzionale W (West), meno soggetto ad equivoci che l'O (Ovest).

(2) È il Verticale indicato dal Sole stesso col suo levar al tempo dell'Equinozio.

(3) Passerà conseguentemente per tutti e due; nella definizione però basta l'indicazione di uno solo.

Digitized by Google

Mezzogiorno, ed appunto per questa ragione il suddetto Circolo massimo della Sfera celeste è stato chiamato dai Latini Circulus meridianus (anticamente medidianus).[1] Alla Culminazione superiore degli astri corrisponde poi una **Culminazione inferiore**, cioè il passaggio al Meridiano in quella parte che sta sotto l'orizzonte.

37. — **Il Meridiano serve pure per punto di partenza nel I e II sistema delle Coordinate riferite.** Contando cioè (Cfr. fig. 15) gli angoli azimutali non da un punto arbitrario qualunque X (Azimut relativo), ma dal punto cardinale del Sud, avremo un **Azimut assoluto**. Il modo poi di contare i gradi è un po' diverso: alcuni cominciando dal detto punto contano verso Ovest pel Nord, Est da 0° a 360°; altri invece da 0° a 180° verso W e di nuovo da 0° a 180° verso Est.

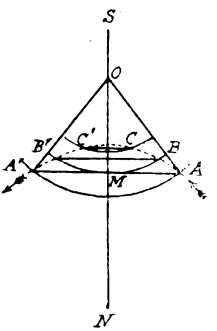


Fig. 19.

Nel sistema equatoriale (Cfr. fig. 17), invece dell'Ascensione retta, contata dal Punto equinoziale, si sostituisce molte volte l'**Angolo orario**,[2] cioè l'angolo che fanno i due piani del circolo rispettivo di Declinazione P X P' e del Meridiano P Z P'; il quale viene misurato dall'arco A Y corrispondente all'angolo A O Y, sia verso Est (E) o verso West (W).

38. — **La determinazione pratica del Meridiano** può farsi in molte maniere. La più semplice è quella di servirsi dell'ombra del Sole. Ad angoli orari uguali del Sole verso Oriente e verso Occidente corrispondono altezze uguali; a uguali altezze del Sole corrispondono ombre di uguale lunghezza del medesimo stilo verticale sopra un piano orizzontale. Il piano della carta (Fig. 19) rappresenti un tal piano orizzontale; nel punto O sia eretto uno stilo verticale. Ad una certa ora (per esempio le 10) prima di mezzogiorno, l'ombra dello stilo sia indicata dalla linea O A, che poi va accorcian-

(1) Come attesta Varrone († 96 a. C. nel suo trattato «De lingua latina» (VI, 4, ed. Müller, Lipsiae, 1833): « D antiqui, non R dixerunt, ut Praeneste incisum in Solario vidi ».

(2) L'angolo orario del Sole indica l'ora del giorno.

Digitized by Google

dosi a proporzione che il Sole sale. Passata la Culminazione del Sole, al tempo della quale la lunghezza dell'ombra è arrivata ad un minimo, questa comincia di nuovo a crescere e (verso le 14 ossia le 2 p. m.) sarà perfettamente la stessa di prima, cioè O A′ = O A; ora basta congiungere A con A′, trovare il punto di mezzo M, congiungere M con O ed avremo trovata la **Linea Meridiana** orizzontale, il cui prolungamento indica nell'orizzonte i punti N e S, Nord e Sud (Cfr. fig. 17). Il piano che passa per questi punti e per lo Zenit sarà il piano del Meridiano, il circolo massimo, col quale interseca la Sfera celeste ed il globo terrestre, sarà il Circolo Meridiano. L'operazione viene facilitata se si costruiscono intorno ad O parecchi circoli concentrici, osservando da una parte l'entrata dell'ombra nei punti A, B, C e dall'altra l'uscita in C′, B′, A′. Le osservazioni così moltiplicate aumentano l'esattezza.

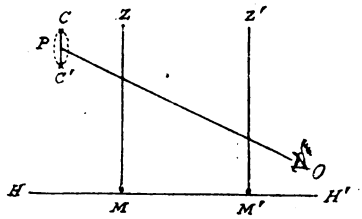


Fig. 20.

39. — Chi volesse fare questa determinazione del Meridiano di nottetempo, potrebbe servirsi della **Stella Polare** (α Ursae min.), la quale descrive un piccolo cerchietto (num. 12) intorno al polo P (Fig. 20). Conoscendo il tempo della sua Culminazione superiore in C e inferiore in C′, ed avendo calato un perpendicolo (un filo a piombo imbianchito) Z M sul punto M di un piano orizzontale H H′, per il quale si vuol tracciare la linea meridiana, ai tempi indicati si colloca l'occhio O dietro il filo Z M, così che questo passi per la stella. Poi si cala un secondo perpendicolo Z′ M′ ad una certa distanza dal primo, cosicchè copra insieme il filo Z M e la Stella. La linea che congiunge sul piano orizzontale M ed M′ sarà la cercata linea Meridiana.

Se si misuri allo stesso tempo l'altezza della stella polare, si ottiene facilmente l'altezza del polo stesso, ossia la latitudine geografica del luogo di osservazione, aggiungendo, cioè, ovvero sottraendo, la distanza polare della stella (conosciuta dalle effemeridi), secondochè si osservi la culminazione inferiore o superiore. (1)

(1) Di metodi più precisi tanto per la determinazione del Meridiano, quanto per quella dell'altezza polare, tratteremo più sotto.

Digitized by Google

COROLLARIO II. — RELAZIONE TRA I VARI CIRCOLI DELLA SFERA CELESTE E DEL GLOBO TERRESTRE. ZONE E CLIMI.

40. — Varie difficoltà sogliono sperimentare i principianti, specialmente perchè noi non possiamo rappresentare nelle figure il rapporto che realmente esiste tra il raggio della Sfera celeste e quello del globo terrestre (Cfr. n. 4). Lo stesso dicasi della nostra fig. 21, nella quale il circolo interno piccolo rappresenti una sezione meridiana della Terra, il circolo grande la corrispondente sezione della Sfera celeste. Un osservatore terrestre, collocato in a', mirando nella direzione $a'\,b \parallel OP$ incontra sulla Sfera celeste il punto P, mirando verso n incontra il punto N, verso q il punto E. Egli determina così senza difficoltà la posizione dell'Orizzonte, Polo, Equatore, Eclittica, ecc. come se si trovasse nel centro O stesso della Terra e della Sfera celeste. La sua posizione particolare in a' soltanto decide la posizione dell'Orizzonte e del Meridiano locale, che cambiano col cambiarsi di a'.

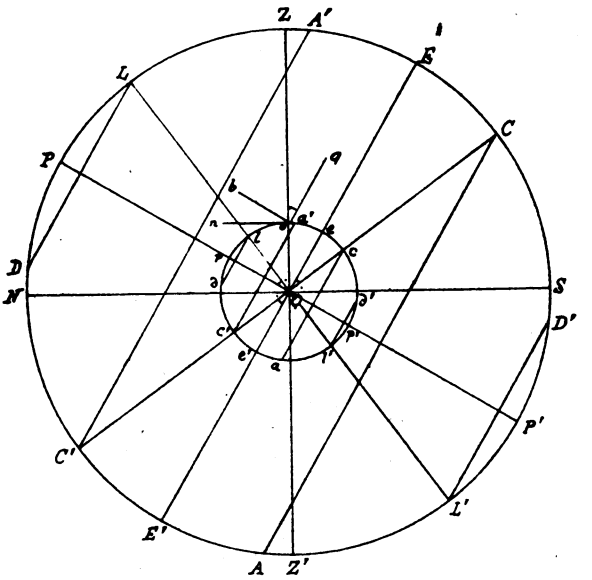


Fig. 21.

Premesso ciò, ora è facile stabilire il nesso che passa tra i

Digitized by Google

circoli della Sfera celeste e quelli della Terra. Sulla Sfera celeste Z indichi lo zenit di a', Z' il nadir, P P' l'asse del mondo, E E' rappresenti la posizione dell'Equatore, C C' quella dell'Eclittica, L L' l'asse dell'Eclittica, N S l'Orizzonte.

41. — Tutte queste linee (Diametri della Sfera) notano colla loro intersezione col globo terrestre altrettanti diametri di questo (notati nella nostra figura colle rispettive lettere minuscole). Ora tirando le linee parallele (all'Equatore): C A, C' A', L D, L' D', poi $c\,a$, $c'\,a'$, $l\,d$, $l'\,d'$, immaginiamo per tutte queste linee altrettanti piani paralleli all'Equatore, allora tanto la Sfera celeste quanto il globo terrestre vengono divisi in cinque parti o **Cinque Zone.** (1)

Sulla Terra quella di mezzo viene chiamata la **Zona torrida**, perchè tutti gli abitanti della medesima hanno il Sole allo Zenit per qualche tempo dell'anno, donde nasce un caldo eccessivo. Le due adiacenti nell'uno e nell'altro emisfero chiamansi **Zone temperate**; le ultime circompolari **Zone fredde** a cagione della temperatura glaciale, che ivi regna. Infatti per qualche tempo dell'anno il Sole ivi non si leva affatto sull'orizzonte. Trovandosi per esempio in C, i suoi raggi essendo tangenti in l, non possono illuminare nessuna parte della calotta $l\,p\,d$. Essendo poi allo stesso tempo tangenti ad l' illuminano costantemente la calotta (opposta) $l'\,p'\,d'$, dove quindi il Sole non tramonta, ad onta del giro che fa sul parallelo A C col moto diurno apparente della Sfera celeste. (2) I paralleli che

(1) Ovidio (I, Metam. 45) distingue le cinque Zone del Cielo e le corrispondenti cinque Plaghe della Terra (Plagae):

Utque duae dextra coelum, totidemque sinistra
Parte secant Zonae, quinta est ardentior illis.
Sic onus inclusum numero distinxit eodem
Cura Dei, totidemque plagae tellure premuntur...

(2) Questo moto apparente (come mostreremo a suo tempo) si riduce al moto reale della Terra intorno all'asse $p\,p'$ in senso contrario, cioè da Ovest verso Est.

Gli abitanti delle due Zone fredde vedono conseguentemente l'ombra del Sole per una parte dell'anno fare un giro completo tutto intorno; per ciò furono chiamati Periscii (περί intorno e σκιά ombra). Noi nelle Zone temperate non vediamo mai il Sole (nel Meridiano) verso Nord, siamo quindi Eteroscii (ἕτερος uno di due). Nella Zona torrida invece si può avere questo spettacolo, almeno per una parte dell'anno; donde i suoi abitanti furono detti Amphiscii (ἀμφί dall'una e l'altra parte).

Notiamo ancora alcuni altri termini tecnici: Due abitanti della Terra, che si trovano in punti (come c, c') diametralmente opposti, si

Digitized by Google

dividono le varie Zone, si chiamano (verso Nord) il **Tropico del Cancro** ed il Circolo polare artico; (verso Sud) il **Tropico del Capricorno** ed il Circolo polare antartico.[1]

42. — Talvolta si usano come identici i termini Zona e Clima, distinguendo colle cinque Zone della Terra anche cinque Climi diversi. La parola **Clima,** alludendo semplicemente alla varia inclinazione dell'asse del Mondo verso l'orizzonte, ammette molte suddivisioni.[2] Adesso si indica piuttosto direttamente questa inclinazione, cioè l'altezza rispettiva del Polo, che è poi niente altro che la latitudine geografica. Dove questa è diversa, avremo un clima diverso.

chiamano antipodi (ἀντίποδες); se si trovano sui punti diametralmente opposti dello stesso parallelo (a, c), saranno circumcolae (περίοικοι); se hanno la stessa latitudine geografica (a, c'), ma in emisferi opposti, saranno contraccolae (ἀντοίκοι).

(1) Il Sole arrivato al segno del Cancro, ha la sua massima declinazione verso Nord, donde ritorna verso Sud. Questo ritorno è indicato dalla parola Tropico (dal greco τροπικός versatile). Arrivato al Tropico del Capricorno, si volta di nuovo verso Nord.

(2) In questa suddivisione di Climi, la durata del giorno più lungo (vedi la riga I orizzontale del seguente specchietto) serviva per norma: all'Equatore, dove giorno e notte per tutto l'anno sono uguali, lo splender del Sole dura sempre 12 ore; lo scemare del giorno di una mezz'ora, andando dall'Equatore verso i poli, alle latitudini geografiche rispettive (II riga), indica un Clima nuovo (III riga): si distinguono così ventiquattro Climi:

12 0° I	12 ½ 8° 34′ II	13 16° 43′ III	13 ½ 24° 11′ IV	14 30° 47′ V	14 ½ 36° 30′ VI	15 41° 22′ VII	15 ½ 45° 29′ VIII
16 49° 1′ IX	16 ½ 51° 58′ X	17 54° 29′ XI	17 ½ 56° 37′ XII	18 58° 26′ XIII	18 ½ 59° 59′ XIV	19 61° 18′ XV	19 ½ 62° 25′ XVI
20 63° 22′ XVII	20 ½ 64° 6′ XVIII	21 64° 49′ XIX	21 ½ 65° 21′ XX	22 65° 47′ XXI	22 ½ 66° 6′ XXII	23 66° 20′ XXIII	23 ½ 66° 28′ XXIV

Colla latitudine di 66° 31′ comincia già il giorno perpetuo di ventiquattro ore. Alcuni autori contano ancora un Clima dove si gode questo spettacolo per mesi:

1 XXV	2 XXVI	3 XXVII	4 XXVIII	5 XXIX	6 XXX

A ciascun Clima dell'Emisfero boreale, corrisponde il suo Anticlima nell'Emisfero australe.

Digitized by Google

COROLLARIO III. — LA ROSA DEI VENTI.

43. — Per gli usi astronautici e meteorologici il Circolo dell'Orizzonte suol dividersi anche in maniera diversa da quella indicata di sopra (num. 37), dividendo e suddividendo sempre per metà gli angoli tra i quattro punti cardinali S, W, N, E. Si ottengono (come lo mostra la Fig. 22) 32 direzioni, cioè:

1. Quattro divisioni: Sud-West (S W), Nord-West (N W), Nord-Est (N E), Sud-Est (S E);

2. Otto suddivisioni: WSW (West-Sud-West), S S W, W N W, N N W; N N E, E N E, E S E, S S E;

3. Diciassette ulteriori suddivisioni: S *v* W (Sud verso West), [1] S W *v* S, S W *v* W, W *v* S; W *v* N, N W *v* W, N W *v* N, N *v* W; N *v* E, N E *v* N, N E *v* E, E *v* N; E *v* S, S E *v* E, S E *v* S, S *v* E.

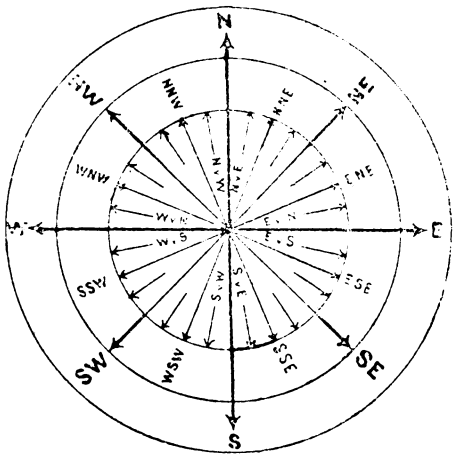


Fig. 22. Rosa dei venti.

Le linee diverse delle suddette 32 divisioni, si raggruppano intorno al centro come le foglie d'una rosa, e siccome esse servirono principalmente ai marinai (velieri) per indicare la direzione del vento, si capisce facilmente l'origine del nome.

(1) In Italia invece delle espressioni N, S, E, W, ecc., si usano Borea o Tramontana (N), Ostro o Mezzodì (S), Levante o Oriente (E), Ponente o Occidente (W). I venti intermedi si chiamano Greco (N E), Maestro (N W), Scirocco (S E), Libeccio, Garbino o Africano (S W). Vedi per esempio la rosa dei venti intorno all'obelisco di S. Pietro in Roma.

Invece di S *v* E, ecc., altri scrivono S ¼ E (Sud, quarto di Levante). Dell'ultima suddivisione la fig. contiene soltanto i nomi principali.

Digitized by Google

COROLLARIO IV. — SPECCHIETTO DEI VARII SISTEMI DI COORDINATE.

44.

Piano fondamentale	I Coordinata	II Coordinata	Complemento di II
Orizzonte . .	Azimut { relativo / assoluto	Altezza . .	Coaltezza (distanza zenitale)
Equatore . . .	{ Ascensione retta / Angolo orario	Declinazione	Codeclinazione (distanza polare).
Eclittica . . .	Longitudine	Latitudine .	Collatitudine

CAPITOLO IV.

RAPPRESENTAZIONE MATERIALE DELLA SFERA CELESTE. GLOBI CELESTI E SFERE ARMILLARI.

Fig. 23. Globo celeste.

45. — Lo studio degli astri viene facilitato assai, se (Fig. 23) sopra un **Globo artificiale** (una palla di legno o cartone) si rappresentano non soltanto le costellazioni celesti secondo il loro sito, ma anche i circoli principali della Sfera. Facendo girare il globo intorno ad un asse I K (Fig. 24), corrispondente all'asse del mondo, ed impernato in un cerchio A B C rappresentante il Meridiano, di più rendendo questo cerchio meridiano mobile in un cerchio concentrico orizzontale L M, sorretto da un piedistallo Q R, potremo facilmente riprodurre in piccolo tutti gli spostamenti possibili della Sfera celeste, imitarne i cambiamenti, e studiarne le leggi. Il quadrante del cerchio

Digitized by Google

verticale graduato (B), girevole col suo appoggio sull' Orizzonte per tutti gli Azimut, permette pure la lettura delle coordinate altazimutali.

Tali Globi, talvolta di dimensioni colossali, si ammirano nei varii Musei ed Osservatori antichi. La nostra figura 24

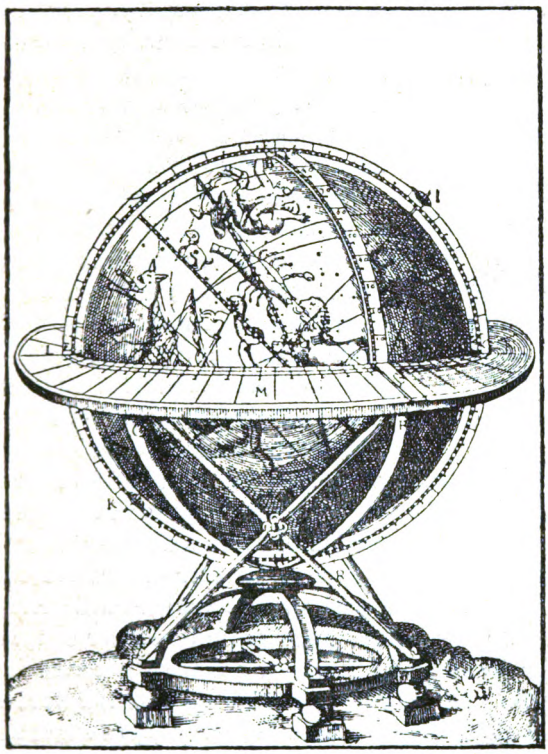


Fig. 24. Globo celeste di Tycho Brahe.

rappresenta quello di Tycho Brahe, delineato nella sua opera Astronomiae instauratae Mechanica.(1)

(1) Gli antichi ascrivono al personaggio mitologico Atlas la costruzione del primo Globo celeste. Il certo si è, che Eudosso (Astronomo greco del sec. IV av. C.) ne fece uno. Ma tutti questi globi antichi colle loro figure sembrano perduti. La ristorazione, o meglio ricostruzione, di queste figure è dovuta al celebre artista Alberto Dürer (1515), dal quale copiarono altri. Cf. A. Dürer: «Imagines sphaerae barbaricae», Coloniae, 1537.

Digitized by Google

46. — Simili servizi prestano le cosidette **Sfere armillari** (Fig. 25), le quali coi loro anelli (armille) graduati rappresentano soltanto i circoli principali della Sfera celeste, mentre nel centro un piccolo Globo terrestre co' suoi circoli rende più cospicuo il rapporto tra gli uni e gli altri. All'Eclittica si suol dare una maggiore larghezza (di circa $8\frac{1}{2}^{o}$ gradi di latitudine verso Nord e verso Sud) per indicare quella Zona nella quale si trovano la Luna e i Pianeti principali. Un dischetto, fissato al circolo del Meridiano e diviso a foggia della mostra d'un orologio, serve per misurare il giro fatto dalla Sfera, l'asse della quale porta una piccola lancetta (girevole colla Sfera stessa).

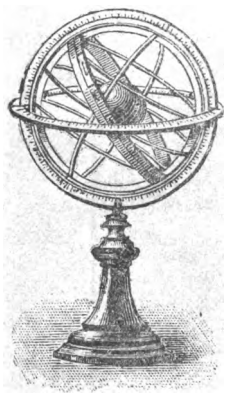


Fig. 25. Sfera armillare.

Quanto sono più grandi le dimensioni della Sfera, tanto più facilmente possono essere divisi e suddivisi i vari circoli in gradi, minuti, ecc. Dando poi alla Sfera una posizione di Sfera parallela (num. 30), dritta od obliqua (secondo le esigenze del caso) si possono mettere sott'occhio una serie di fenomeni, che non senza molte veglie e cure si osserverebbero in Cielo; anzi si sciolgono, colla mera lettura dei numeri rispettivi e con sufficiente approssimazione una serie di problemi, che altrimenti richiederebbero un calcolo lungo, noioso e talvolta anche difficile. Così, per esempio, si determina facilmente il Nascere e Tramontare degli astri specialmente del Sole, della Luna e dei singoli pianeti; si spiega la varia durata dei giorni, la variabilità dell'altezza solare da un'ora all'altra e da un giorno all'altro; il cambiamento degli Azimut, ecc.

47. — Dei Circoli di Declinazione la Sfera armillare suol averne soltanto due, che passano pei quattro punti caratteristici dell'Eclittica cioè pei punti equinoziali (♈, ♎) e solstiziali (♋ e ♑). Questi Circoli che s'intersecano sotto un angolo retto si chiamano **Coluri**, [1] uno Coluro equi-

(1) Il nome (da κολούω *taglio* e οὐρά *coda*) sembra derivato dal fatto che questi Circoli nel loro passaggio verso Nord intersecano (tagliano)

Digitized by Google

noziale, l'altro Coluro solstiziale. L'ultimo contiene i poli dell'Eclittica (23° circa distanti dai Poli della Sfera).

Oltre questi Circoli particolari di Declinazione, aderenti, per così dire, alla Sfera celeste, e quindi girevoli con essa (secondo l'apparenza), vi sono altri che come il Meridiano, dipendono dalla posizione dell'osservatore sulla Terra e conseguentemente restano (apparentemente) immobili con questa. Cioè se da un Meridiano terrestre particolare (rappresentato da un'Armilla particolare, immaginiamo dodici altri circoli meridiani, i quali incrociandosi nel Polo formano ivi altrettanti angoli da 15° in 15°, ed immaginiamo i loro piani estesi fino alla volta celeste, i circoli (di Declinazione) ivi designati chiamansi anche **Circoli orari** (perchè il Sole li percorre successivamente col suo moto diurno nell'intervallo costante di un'ora). Essi insomma corrispondono ad un angolo orario di 15°, 30°, 45°... gradi (num. 37).

48. — Girando la Sfera armillare intorno al suo asse, si vede che l'Eclittica, ossia il Zodiaco razionale, a cagione della sua posizione obliqua cambia continuamente la sua posizione rispetto all'Orizzonte. Eclittica ed Orizzonte, essendo Circoli massimi s'intersecano costantemente in un diametro della Sfera, del quale il punto estremo verso Oriente nota quel punto dell'Eclittica, che si leva sull'Orizzonte, l'altro verso Oriente, quello che tramonta. Se dal centro della Sfera alziamo una perpendicolare sul piano dell'Eclittica sopra lo stesso diametro, l'arco diurno del Circolo eclitticale viene diviso in due parti uguali. Il punto di divisione (di mezzo) chiamasi il **Nonagesimo**, a cagione della sua distanza di 90° gradi dai suddetti punti nell'Orizzonte. Queste cose ed altre simili, (1) una volta di grande importanza per le vane speculazioni astrologiche, oramai sono di poco uso. Bastino perciò questi pochi cenni.

49. — Notiamo finalmente che le costellazioni e tutti i disegni, numerazioni, ecc., che si trovano segnate sopra un Globo

la coda delle due Orse: Il Coluro equinoziale quella dell'Orsa maggiore, il Solstiziale quella dell'Orsa minore.

(1) Nelle dodici Case dello Zodiaco (Δωδεκάμοιρος) gli astrologi trovarono i loro prognostici secondo i versicoli:

Vita, Lucrum, Fratres, Genitor, Nati et Valetudo
Uxor, Mors, Iter et Regnum, Benefactaque, Carcer.

Kepleri Op. Omn., VI, 210.

Digitized by Google

artificiale, si vedono in posizione inversa da quella, che mostrano sul Cielo; cioè quello che ivi vediamo a destra, sul Globo occupa la sinistra nello stesso modo come la destra di una figura dipinta sulla finestra di una camera, diventa la sinistra se la guardiamo dal di fuori. Questo rende un po' difficile il confronto diretto di tali costellazioni con quelli del Cielo. Nondimeno gli antichi erano così avvezzi a questo modo di vedere, che poi anche alle Carte celesti solevano dare l'aspetto delle configurazioni d'un Globo artificiale, non del Cielo veduto direttamente. (1)

CAPITOLO V.

PROIEZIONI DELLA SFERA. PLANISFERI E CARTE CELESTI

PRENOZIONI.

50. — Non è possibile rappresentare una Sfera co' suoi Circoli su di un piano, senza alterarne la figura. Se vogliamo dunque fare il disegno, sia di una Sfera intera, sia di una parte soltanto della sua superficie, è necessario ricorrere a proiezioni; cioè collocando l'occhio in un punto determinato, i raggi visuali verso i varii punti da notarsi vengono prolungati fino ad un piano opposto, si proiettano sopra lo stesso piano.

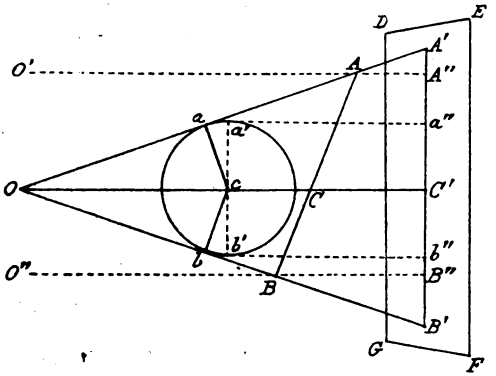


Fig. 26.

Sia per esempio (Fig. 26) la linea OC' perpendicolare al piano DF. Un occhio collocato in O proietterà i punti estremi di una

(1) Così ancora le carte dell'Atlante reale dell'Accademia di Torino, 1880.

Digitized by Google

linea A B nei punti A′ B′ del piano, di modo che la linea A B per l'osservatore in O copre in tutta la sua lunghezza la linea A′ B′ del piano. — Similmente un circolo col centro in c, il piano del quale coincide con quello dei punti O A′ B′, e di cui le linee O A′ e O B′ siano tangenti in a e b, si proietterà sopra il piano come una semplice retta A′ B′.

La grandezza dell'angolo A O B evidentemente diminuisce coll'allontanarsi dell'occhio dal **Piano di proiezione** (restando l'oggetto da proiettarsi alla stessa distanza). Finalmente l'angolo diventerà così piccolo che i suoi lati AA″ BB″ possono considerarsi come paralleli (come se l'occhio si trovasse ad una distanza infinita dal piano). Allora la linea A B sarà proiettata in A″ B″, il circolo col suo diametro $a'\,b'$ in $a''\,b''$. Tutte le linee AA″, BB″, $a'\,a''$, $b'\,b''$ formano altrettante perpendicolari sul piano. Donde questa specie di proiezione si chiama ortogonale, ovvero ortografica,[1] l'altra invece stereografica.[2]

51. — Le cose anzidette si estendono facilmente alla proiezione di più linee rette collocate comunque nello spazio. Un po' più complicato diventa il problema, quando trattasi della proiezione di circoli diversamente collocati (Fig. 27).

Un circolo A B, da proiettarsi sopra un piano qualunque, si trovi così collocato rispetto all'occhio O, che la visuale O C stia perpendicolare sul piano del medesimo, cioè O C ⊥ A B, C O ⊥ E D; sia inoltre A B ⊥ D E. Se il piano di proiezione X Y (parallelo al piano X′ Y′) è parallelo al piano A D B E, la proiezione del circolo A D B E in A′ D′ B′ E′ ovvero in A″ D″ B″ E″, sarà di nuovo un circolo. Sarà $\sphericalangle$ O C A = $\sphericalangle$ O C′ A′ = $\sphericalangle$ O C″ A″ = 90°. I circoli proiettati formeranno altrettante sezioni parallele di un Cono retto col vertice in O, la superficie del quale è generata dalle linee visuali indefinite O A, O B, ecc., intorno al circolo A B.

Ora se facciamo girare uno di questi piani, per esempio, X Y intorno alla linea E′ D′ in modo tale, che la sua inclinazione O C′ A′ verso l'asse del Cono O C′ non sia più un angolo retto, le sue intersezioni col Cono non formeranno più

(1) Ὀρθός (dritto), γωνία (angolo), γράφω (scrivo).
(2) Στερεός (solido).

Digitized by Google

Circoli, ma altre « **Sezioni coniche** », cioè Ellissi, Parabola ovvero Iperbola.

L'intersezione sarà un' Ellisse (L D' L' E') se l'asse $L\,L' \perp E_1^{\bullet} D'$ incontra la superficie del Cono nei due punti diametralmente opposti, ossia finchè $\sphericalangle L\,C'\,O > \sphericalangle L\,O\,C'$.

La sezione conica sarà una Parabola (R P R'), se questi due angoli diventano uguali, cioè $\sphericalangle P\,C'\,O = \sphericalangle P\,O\,C'$, ossia se l'asse P P', essendo parallelo alla linea O B B' B'' non incontra più la superficie del Cono.

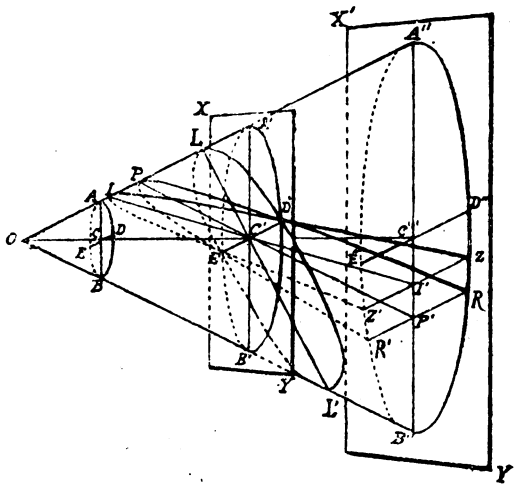


Fig. 27.

La sezione finalmente sarà un' Iperbola (Z I Z') se il suddetto angolo diminuisce ancora, cioè se $\sphericalangle I\,C'\,O < \sphericalangle I\,O\,C'$.(1)

52. — Da questa considerazione segue dunque che la proiezione di un circolo, fatta nel modo indicato, sarà una delle sezioni coniche, secondo che il circolo da proiettarsi ha una inclinazione particolare rispetto al piano di proiezione. Trattandosi però di piani paralleli (più o meno vicini), le figure proiettate sopra questi piani diversi rimarranno tutti simili.

Questi pochi cenni possono dare un'idea della genesi di queste varie proiezioni. Per le prove matematiche delle cose

(1) Per la prova di queste asserzioni rimettiamo il lettore agli autori di Matematica e Geometria.

Digitized by Google

dette rimettiamo agli autori che trattano queste cose *ex professo*. Per rendere però la nostra opera più utile ad un maggiore numero di lettori, forse meno versati in queste cose, vogliamo qui brevemente indicare il modo di costruire le varie curve indicate. Per una **rappresentazione grafica** basta intercettare con un piano materiale (un cartone bianco) un cono di raggi provenienti da una sorgente luminosa, per esempio, da un telescopio voltato verso il Sole, un apparato di proiezioni luminose, ecc. Variando l'inclinazione del piano, vediamo riprodursi nettamente le suddette curve (Circolo, Ellisse, Parabola, Iperbola).

53. — Ellisse[1] (Fig. 28) dicesi una curva piana chiusa o rientrante in se stessa, nella quale la somma delle distanze (r e r') di ciascun punto, da due punti fissi (F ed F′) chiamati Fochi, è costante ed uguale ad una retta data AA′ (maggiore di FF′), che forma il suo Asse maggiore ossia l'asse trasverso della curva.

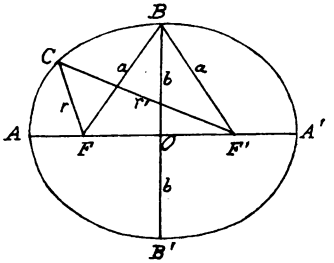


Fig. 28.

Per costruirla si prende un filo FBF′, le cui estremità si stabiliscono in F e F′, equidistanti da O (punto di mezzo di AA′), cosicchè FB + BF′ sia eguale all'asse maggiore AA′, poi si conduce uno stilo piantato in B intorno ad O in maniera tale, che il filo rimanga sempre disteso; allora la punta dello stilo descriverà la curva desiderata.

L'asse BB′ (passante per O) ⊥ AA′ dicesi Asse minore o coniugato. Questo e l'Asse maggiore trasverso dividono l' Ellisse in quattro parti simmetriche. Se sono dati questi due assi, la costruzione è facile, perchè essendo $BF = BF' = \frac{1}{2}AA' = a$, la distanza dei punti F ed F′ è data senz'altro.[2]

(1) Dal greco Ἔλλειψις (Difetto), perchè sembra un Circolo difettoso.

(2) Di altre particolarità si tratterà più sotto.

Digitized by Google

54. — La Parabola [1] (Fig. 29) è una curva piana, nella quale ciascun punto dista ugualmente da un punto fisso F (chiamato Foco) e da una retta fissa D D′ (chiamata direttrice).

Per costruirla si fissa in un punto B (di una squadra) un filo teso di lunghezza B′ P F = B A, coll'altra estremità fissata in F. Mentre poi si fa scorrere la squadra parallelamente a se stessa lungo un regolo D D′, si accompagna il filo da B lungo la squadra verso A, cosicchè coll'avanzare di A B verso A′ B′ si sovrapponga B′ P. Allora la punta dello stilo descriverà la Curva parabolica B P P′ V, metà della Parabola X V X′, l'altro ramo simmetrico V X′ si descriverà in maniera simile. V si chiama il vertice della Parabola, V Y (⊥ D D′) il suo asse. I due rami V X e V X′ possono (con costruzione simile) prolungarsi indefinitamente.

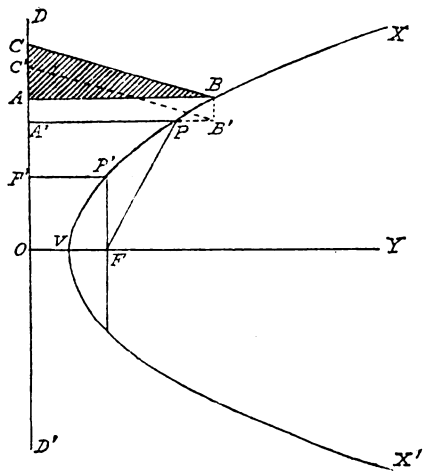


Fig. 29.

55. — Iperbola [2] chiamasi una curva piana (Fig. 30) nella quale la differenza delle distanze (X F′ — X F) di un punto qualunque (X) da due punti fissi (F e F′ chiamati Fochi), è costante ed uguale a una lunghezza data V V′ = 2 *a* (minore di F F′); V V′ chiamasi Asse principale dell'Iperbola.

Per costruirla si prende una riga F′ X girevole intorno all'estremità F′. All'altra estremità X si lega un filo di lunghezza X A uguale alla data quantità F′ X — F′ A = 2 *a* = V V′. L'altro capo del filo si ferma in F (osservando che F F′ deve

(1) Dal greco παραβολή, getto: un getto di acqua ed un grave lanciato obliquamente verso l'orizzonte (astraendo dalla resistenza dell'aria) descrivono una tal curva.

(2) Greco Ὑπερβολή.

Digitized by Google

sempre essere maggiore di 2 a). Ora distendendo il filo, questo formerà colla riga e colla linea F F′ il triangolo F X F′.

Ora mentre la riga gira intorno ad F′ ed i suoi punti X ed A descrivono gli archi circolari X X″ ed A A′, si accompagna da X verso A con uno stilo il filo in tal maniera che la parte (P F) verso F rimanga sempre tesa, l'altra (P X″) venga a sovrapporsi alla riga; allora la punta dello stilo descriverà la curva iperbolica X P V Y.

In maniera somigliante, facendo girare la riga intorno ad F e fissando l'estremità del filo in F′, si descrive l'altro

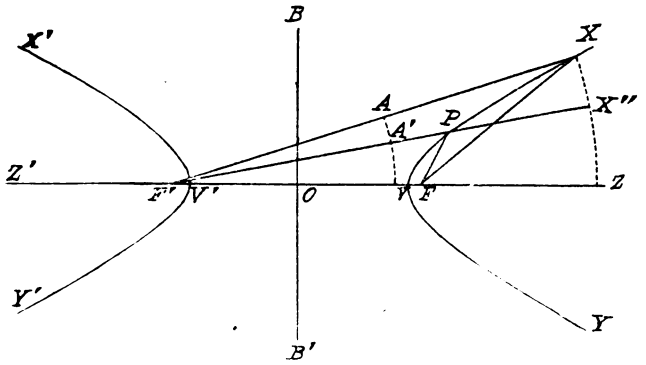


Fig. 30.

ramo simmetrico X′ V′ Y′. Il punto di mezzo O tra V e V′ chiamasi il centro dell'iperbola, la retta B O B′ (perpendicolare sull'asse principale V V′) asse coniugato (supponendo però $OB = OB' = \sqrt{\overline{OF}^2 - a^2}$); le rette [$PF = r$, $PF' = r'$] menate da un punto qualunque (P) ai due fochi, vengono chiamati raggi vettori.

56. — A fine di evitare nelle proiezioni della Sfera celeste queste curve di non facile esecuzione, si inventò il modo di proiettare anche Circoli diversamente inclinati in maniera tale, che la proiezione riesca di nuovo un perfetto circolo.

Sia un cono qualunque A B C (Fig. 31) con base circolare A E B D. Sia O il centro di questo circolo e quindi la retta O C l'asse del cono. Calando da C la perpendicolare C P sul piano della base, e conducendo per O la retta P A che

Digitized by Google

intersechi il circolo nei punti A e B, il triangolo A B C si troverà nel piano del triangolo A P C. Se ora da un punto qualunque A′ della B C conduciamo una retta A′ B′ cosicchè ∢ C A′ B′ sia uguale a ∢ C A B; se si determini poi per A′ B′ una sezione piana perpendicolare al piano A C P, l'intersezione di questo piano colla superficie del cono sarà di nuovo un circolo. (1)

Da ciò segue che il circolo A′ B′ veduto da C si proietta di nuovo sul piano A D B E (ovvero sopra un piano qualunque parallelo a questo) come un circolo.

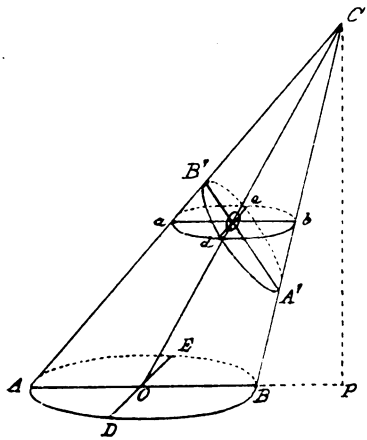


Fig. 31.

Vediamo ora come queste condizioni si verifichino nel caso dei circoli di una sfera.

57. — A B C D (Fig. 32) rappresenti un circolo massimo di una sfera, O e P siano i poli del cerchio, in P la sfera sia tangente al piano X Y. Dal detto di sopra è evidente, che i circoli della sfera, paralleli al circolo A B, p. es. A′C′, veduti dal punto O, si proietteranno tanto sul piano A B C quanto sul piano X Y di nuovo come circoli $a\,b\,c$ ed $a'\,b'\,c'$.

Ma anche un altro circolo qualunque, p. es. C′ D′, si proietterà in $d\,c$ ovvero in $d'\,c'$ in forma di circolo; essendo il caso dell'inclinazione scambievole di questi circoli quello discusso nel num. precedente. (2)

(1) Per provarlo si faccia per il punto o, dove l'asse O C interseca il piano A′ B′, una sezione $a\,d\,b\,e$ parallela al circolo A D B E. Essendo $a\,d\,b\,e$ un circolo perpendicolare al piano C A P, la linea $(d\,e)$ d'intersezione dei piani A′ B′ e $a\,b$ sarà perpendicolare ad $a\,b$ e ad A′ B′. Nel circolo $a\,d\,b\,e$ abbiamo $(o\,e)^2 = a\,o\,.\,o\,b$. I due triangoli simili $A'\,o\,b$ ed $a\,o\,B'$ ci danno $\frac{a\,o}{o\,A'} = \frac{o\,B'}{o\,b}$; quindi $a\,o\,.\,o\,b = o\,A'\,.\,o\,B' = (o\,e)^2$. Dunque anche A′ e B′ d è un Circolo (il centro del quale però non si trova in o).

(2) La prova di ciò vedasi presso gli autori che trattano queste materie più a lungo.

Digitized by Google

Poste queste poche prenozioni, s'intendono facilmente i varii sistemi di proiezione usati nella cosidetta **Corografia,**[1] ossia nell'arte di delineare le carte tanto geografiche quanto celesti.

Art. I. — Proiezione stereografica.

58. — Questa proiezione della Sfera celeste non è altro che l'applicazione delle cose esposte nel numero precedente. Si suppone cioè l'occhio dell'osservatore della Sfera in un punto della superficie sferica O (Cfr. fig. 32) dal quale si proiettano i varii circoli sopra un piano tangente la Sfera nel punto P diametralmente opposto.

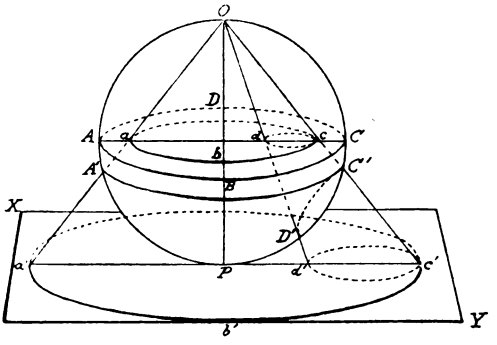


Fig. 32.

Si distinguono poi tre casi particolari, secondochè O si trovi in uno dei poli (equatoriali), ovvero in un punto dell'Equatore stesso, o finalmente in un altro punto qualunque. Nel primo caso il circolo A B C D rappresenterebbe l'Equatore della Sfera; essendo il piano di proiezione parallelo a questo, avremo il caso di una proiezione equatoriale. Nel secondo caso A B C D rappresenterebbe un meridiano (o Circolo di Declinazione) qualunque; il piano X Y sarebbe parallelo al medesimo, dunque la proiezione sarà meridionale. Nel terzo caso A B C D rappresentando un qualsivoglia Orizzonte, otterremo una proiezione orizzontale.

59. — *A*) **Proiezione equatoriale:** Sia E N Q S (Fig. 33) una sezione della Sfera celeste pel Coluro solstiziale (num. 47)

(1) Da χώρα (regione) e γράφω (descrivo); il nome di Topografia (τόπος luogo) si usa piuttosto per la descrizione particolareggiata d'un luogo più ristretto.

Digitized by Google

cioè pei poli Nord e Sud e pei due punti solstiziali ♋ e ♑, sia S N l'asse di rotazione della Sfera, E Q sezione dell'Equatore, la linea ♑ ♋ quella dell'Eclittica.

I circoli dell'Equatore e dei Paralleli essendo pure paralleli al piano di proiezione X Y, si proiettano tutti intorno al punto S, come altrettanti circoli, dei quali basta cono-

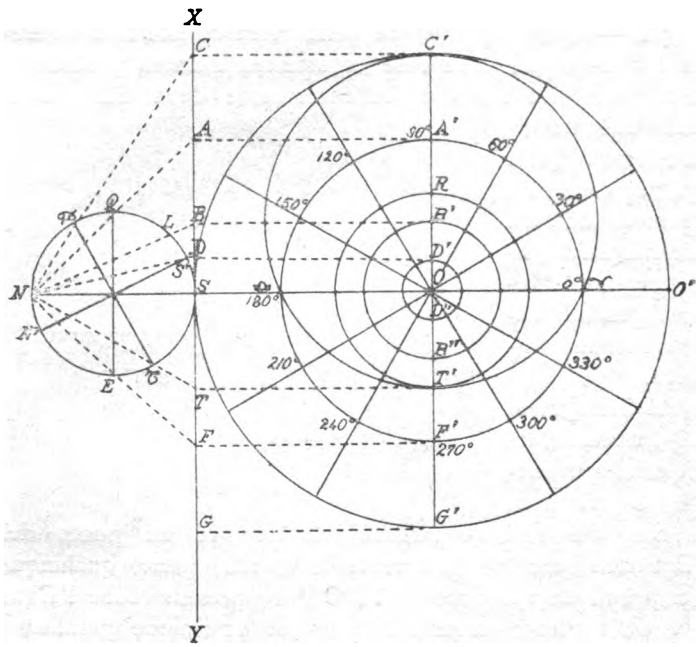


Fig. 33.

scere i raggi rispettivi. Volendo per esempio, costruire la proiezione del Tropico del Cancro, del Tropico del Capricorno, del Circolo artico, di un Parallelo qualunque L (di 45°), basta tirare le linee visuali N ♋, N Q, N L (parallelo di 45°), N S', N ♑, N E, e prolungarle fino alla linea X Y; allora S C, S A, S B, S D, S T rappresentano i raggi cercati. Con questi potremo poi in un disegno separato intorno ad un punto centrale O, il quale rappresenterà il polo Sud, costruire l'Equatore A' ♈ F ♎, il Tropico del Cancro C' O' G' S, quello del Capricorno T' R, il Circolo antartico D' D'', il Parallelo

Digitized by Google

di 45° B′ B″; essendo A′ O = A S, C′ O = C S, D′ O = D S, B′ O = B S, T′ O = T S.

La costruzione dei Circoli di Declinazione non offre nessuna difficoltà, poichè si proiettano tutti come linee rette, incrociandosi nel punto O; S O′ sarà il Coluro equinoziale, C′ G′ il Coluro solstiziale, ecc.

Se voglia tracciarsi anche l'Eclittica basta condurre un circolo pei tre punti ♈ C′ ♎, che passerà necessariamente (secondo il numero precedente) anche per T′.

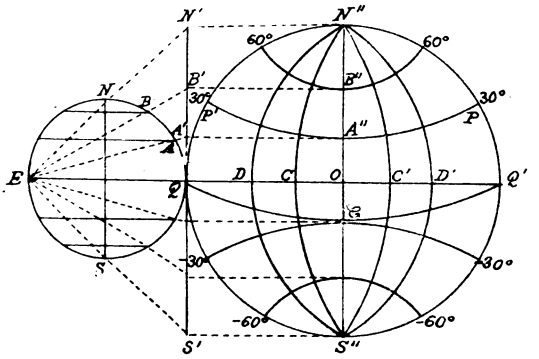


Fig. 34.

Un disegno simile si farà per l'Emisfero boreale, ed ecco il modo di rappresentare tutta la Sfera celeste in due Carte, che abbiamo appositamente eseguite (alla fine di questo volume). Anzi ciascuna carta presenta non un emisfero solo, ma ancora una buona parte dell'altro.

60. — *B*) **Proiezione meridionale.** Questa suppone l'occhio nell'Equatore della Sfera (Fig. 34) in E, il piano tangente (di proiezione) diametralmente opposto in Q.

N S rappresenti quindi l'asse della Sfera, N sarà proiettato in N′, S in S′ e con questo otteniamo il diametro N″ S″ della nostra proiezione, rappresentante l'asse del mondo, mentre la retta Q Q′ sarà la proiezione dell'Equatore.

Per poter tracciare i circoli rispettivi, sia dei Paralleli, sia delle Declinazioni, sarà sempre necessario di fissare almeno tre punti, coi quali (come è noto) una linea circolare è determinata. Si cerchi, per esempio, la proiezione del Parallelo di 30°

Digitized by Google

verso Nord, indicato dal punto A; conducendo E A A′, la distanza Q A′ determina quella di A″ dal centro O della proiezione (essendo O A″ = Q A′). Ora sapendo che lo stesso parallelo deve anche passare 30° da Q e Q′ sull'arco Q N″ Q′, basta ivi determinare gli archi Q P′ = Q′ P = 30°, e far passare un circolo pei punti P A″ P′ per avere il parallelo desiderato. Similmente si costruiscono le proiezioni dei circoli paralleli di — 30°, + 60°, — 60°, ecc. come vedesi nella figura, che col circolo Q ♈ Q′ rappresenta pure la proiezione dell'Eclittica fatta in modo del tutto analogo.

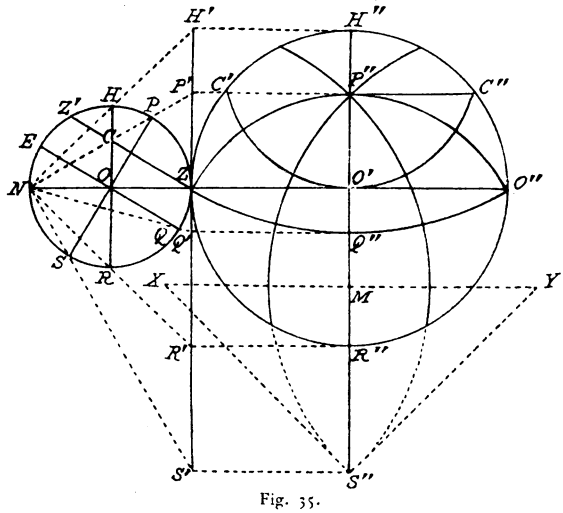


Fig. 35.

Riguardo ai circoli massimi, che passano pei due poli N ed S, e conseguentemente nella proiezione pei punti N″ S″, si determina facilmente il terzo punto sull'Equatore proiettato, considerando che i varii gradi di esso si proiettano sulla linea Q Q′ simmetricamente, come quelli dei gradi paralleli sulla linea S′ N′. Facendo dunque O C = O C′ = O A″; O D = OD′ = O B″ ecc. otterremo facilmente i Circoli di Declinazione N″ C S″, N″ D S″ ecc. distanti rispettivamente dal centrale N″ O S″ in longitudine di 30°, 60°, ecc.

61. — *C*) **Proiezione orizzontale.** Questa proiezione ci mostra la Sfera celeste visibile (ad un dato tempo) sopra un orizzonte dato, cioè di una latitudine geografica determinata.

Digitized by Google

Il modo di procedere è analogo a quello dei casi precedenti. Sia pertanto N H Z R (Fig. 35) una sezione della Sfera celeste pel meridiano del luogo rispettivo. Z rappresenta lo Zenit, N il Nadir. H R sarà sezione dell'Orizzonte (razionale). Se P S rappresenta l'asse del mondo, E Q l'Equatore celeste, allora sarà $\measuredangle$ H O P l'altezza polare, ossia la latitudine geografica, essendo $\measuredangle$ H O P $=\measuredangle$ Z O Q. Il piano di proiezione sia tangente alla Sfera in Z; il diametro orizzontale H R si proietterà sopra H′ R′. Il polo S in S′, P in P′, Q in Q′. H′ R′ $=$ $=$ H″ R″ sarà il diametro dell'Orizzonte proiettato intorno al centro O′ (proiezione dello Zenit).

Conduciamo per O′ la retta O″ Z: allora siccome H″ R″ rappresenta il meridiano, così Z O″ sarà la proiezione del primo verticale, cioè verso Z sarà Est, verso O″ Ovest. Conoscendo così della proiezione dell'Equatore tre punti, cioè Q″ (perchè Q″O′ $=$ Z Q′), Z e O″, ed essendo questa proiezione di nuovo un circolo, questo è determinato.

Determiniamo ora un parallelo qualunque, per esempio quello che passa per lo Zenit, e di cui Z Z′ rappresenta una sezione meridiana, che tagli l'orizzonte in C. Conducendo la linea visuale N C fino ad H′ S′, che incontra (casualmente) nel punto P′, e poi P′ C′ C″ $\parallel$ Z O″, avremo in C′ C″ la proiezione di questa linea di intersezione del piano del Parallelo coll' Orizzonte. Avremo quindi del medesimo circolo proiettato di nuovo tre punti C′ O′ C″ e con ciò il detto circolo è dato.

Per la costruzione della proiezione dei circoli di Declinazione, si noti in primo luogo, che essi devono tutti passare pei due punti P″ S″ ossia per la proiezione dei due poli, quindi un luogo geometrico dei loro centri sarà la linea X Y $\perp$ P″ S″ (nel punto M, intermedio tra P″ e S″). Inoltre gli angoli sotto i quali s'intersecano i Circoli di Declinazione ai poli, rimangono pure nella proiezione. Le linee rette, che fanno gli angoli rispettivi colla proiezione del Meridiano, saranno quindi tangenti ai circoli e ci somministrano l'altro luogo geometrico del centro. Se vogliamo dunque per esempio costruire un Circolo orario (num. 37), che disti 45° dal Meridiano H″ S″ (proiezione di N H Z R N), applichiamo in S″ un angolo M S″ Y $=$ 45°; S″ Y dovrà essere tangente in S″ al circolo cercato, il centro del quale si trova quindi sulla retta

Digitized by Google

S'' X ⊥ S'' Y, viceversa il centro del Circolo orario corrispondente dall'altra parte del Meridiano proiettato, si troverà in Y.

Tutti i punti e le linee, fuori del Circolo dell' Orizzonte proiettato (corrispondenti ai punti invisibili sotto di esso), che servirono soltanto per la costruzione; fatta questa si cancellano.

62. — Il principale vantaggio delle proiezioni stereografiche, in confronto colle altre seguenti, è la facilità relativa della costruzione, che si riduce al disegno di circoli soltanto e di linee rette. Ed è questa la ragione perchè le vediamo continuamente applicate non solamente per le carte celesti, ma anche per le carte geografiche. Non bisogna però ignorare che essi non danno l'aspetto del Cielo stellato come lo vediamo, essendochè l'occhio dell'osservatore non guarda in realtà questa Sfera da un punto della sua superficie, ma piuttosto dal centro della Sfera. Per questa ragione le costellazioni appariscono necessariamente sempre un poco distorte nell'uno o nell'altro senso, come vedesi per esempio nella figura 33 (come pure nelle carte in fine), dove la metà dell' Eclittica tra ♈ e ♎ verso il ♋ apparisce nella proiezione molto maggiore della parte verso il ♑, benchè sulla Sfera stessa siano perfettamente uguali.

Non sarà necessario aggiungere, che siccome noi negli esempi dati abbiamo proiettato sempre almeno un emisferio intero, così potranno proiettarsi colle stesse leggi parti del Cielo più ristrette, e formare una rete per carte particolari, come difatti le troviamo negli atlanti.

Come punto centrale della proiezione suole allora scegliersi il punto di mezzo della regione parziale, e siccome intorno a questo punto la distorsione si riduce sempre ad un relativo minimo, così sarà molto meno percettibile in cotali carte.

Art. II. — Proiezione ortografica.

63. — La proiezione ortografica di un circolo, il piano del quale è inclinato verso il piano della proiezione, è sempre un' Ellisse (eccettuato il solo caso che l'angolo predetto sia un angolo retto, perchè allora il circolo si proietta come una

Digitized by Google

semplice linea retta). Il diametro parallelo al piano di proiezione (ossia parallelo alla linea di intersezione dei due piani indefinitamente prolungati) si proietterà senza accorciamento e formerà quindi l'asse maggiore dell'Ellisse proiettata. Il diametro, che interseca il predetto sotto un angolo retto, subirà il massimo accorciamento, la sua proiezione formerà l'asse minore. Determinati queste due assi (num. 53), l'Ellisse può costruirsi. E di tali Ellissi, tutte più o meno diverse, ve ne saranno sempre un buon numero nelle varie proiezioni ortografiche. Come nell'articolo precedente così qui distinguiamo tre varii aspetti.

64. — *A*) Proiezione equatoriale (Figura 36). Questa proiezione può farsi sopra il piano dell'Equatore stesso, ovvero sopra un piano tangente alla Sfera nel polo opposto. In questo caso i circoli principali (di Declinazione e circoli paralleli) di un emisfero coincidono con quelli dell'altro nella proiezione.

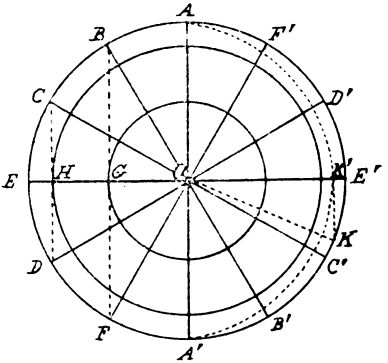


Fig. 36.

I Circoli di Declinazione, essendo tutti perpendicolari al piano di proiezione, si proiettano come linee rette AA′, BB′, CC′, ecc. incrociandosi nel centro O (polo) della proiezione sotto i medesimi angoli come sulla Sfera.

I Circoli Paralleli ritengono anche nella loro proiezione la medesima forma e grandezza. Se il circolo A E A′ E′ rappresenta l'Equatore, A B = B C = C E ecc. un arco di 30°, calando B G ⊥ E O, avremo in O G il raggio del parallelo distante 30° dal polo; C H ⊥ O E ci dà in O H il raggio di quello di 60°.

Se si volesse indicare anche la proiezione dell'Eclittica, supponendo in A ed A′ i due punti equinoziali, è chiaro che questa sarà rappresentata da un'Ellisse A K′ A′, di cui l'asse maggiore coincide colla linea A A′. L'asse minore O K′ viene dato dalla proiezione di O K sopra O E′, purchè l'angolo K O E sia uguale all'inclinazione dell'Eclittica ($\measuredangle i$).

Digitized by Google

65. — *B*) **Proiezione meridionale.** PP′ (Fig. 37) rappresenti l'asse della Sfera (celeste), P E P′ E′ un meridiano qualunque. E E′ sia l'intersezione dell'Equatore col piano del Meridiano. I punti A e B abbiano una Declinazione di 60° rispettivamente 30° dall'Equatore verso Nord, C e D altrettanto verso Sud. Tirando le linee A A′, B B′, C C′ e D D′, tutte parallele ad E E′, avremo senz'altro l'intersezione dei paralleli rispettivi col piano del Meridiano, ossia la loro proiezione ortagonale sopra il medesimo piano.

I Circoli di Declinazione (ovvero orari) si proiettano come ellissi, delle quali P P′ sarà l'asse maggiore, comune a tutti. L'asse minore si trova mediante la proiezione ortogonale dei punti A in F, B in G ecc. sopra E O. Essendo l'arco A E = 60°, facendo girare il settore E O P per 90° intorno E O, il punto A verrebbe evidentemente a coincidere col punto equatoriale distante 60° dal punto E, ed indicherebbe nell'Equatore il circolo orario di 60°. F rimarrebbe però sempre la proiezione ortogonale di A anche in questa posizione. Lo stesso dicasi dei punti G, F, O, F′, G′, che rappresentano la proiezione dei punti equatoriali dei circoli orari di 30°, 60°, 90°, 120°, 150°.

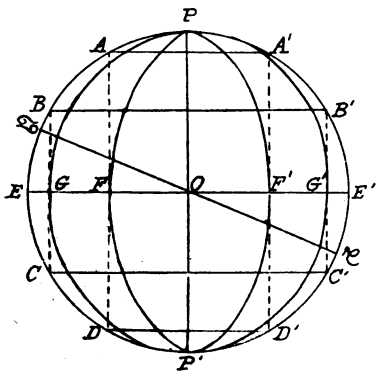


Fig. 37.

L'Eclittica si proietterà come una linea retta ♋ ♂, se O rappresenti la proiezione dei punti equinoziali; basterà perciò fare ♈ ♋ O E = ♈ *i* (incl. dell'Eccl.).

66. — *C*) **Proiezione orizzontale** (Fig. 38). Il circolo E P Q S rappresenti di nuovo una sezione meridionale della Sfera celeste, P il polo Nord, S il polo Sud, E Q l'Equatore, A B un parallelo qualunque, H R la sezione dell'Orizzonte (razionale), sul quale si vuole proiettare ortogonalmente la Sfera co' suoi circoli. A B tagli l'asse P S nel punto C. Abbassiamo dai punti B, P, C, A, Q, E, S altrettante perpendicolari sulla linea H R, le quali incontrino questa nei punti ri-

Digitized by Google

spettivi B′, P′, C′, A′, Q′, E′, S′. L'angolo P O H = φ indica (la latitudine geografica) l' elevazione del polo sull' orizzonte, sul quale si fa la proiezione.

Q′ E′ ci fornisce l'asse minore dell'Ellisse per l'Equatore proiettato, il centro del quale rimane in O, l'asse maggiore sarà il diametro della Sfera. Rimangono inalterati i diametri dei paralleli formanti i rispettivi assi maggiori delle Ellissi proiettate. L'asse minore del parallelo A B è dato dalla linea A′ B′, della quale C′ è il punto di mezzo. Con questi dati sarà facile di eseguire la proiezione richiesta nel modo abba-

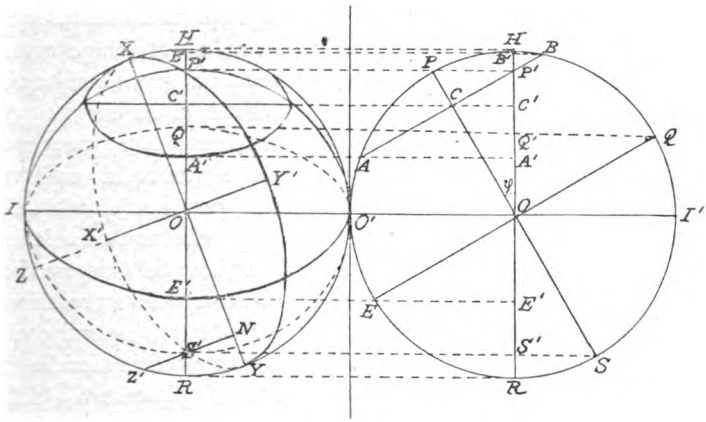


Fig. 39. Fig. 38.

stanza indicato dalla figura 39, nella quale le lettere corrispondenti della figura 38 sono conservate.

67. — Per la costruzione delle proiezioni dei Circoli di Decl. si noti primo che, essendo tutti circoli massimi, nella loro proiezione avranno l'asse maggiore dell'Ellisse proiettata uguale al diametro della Sfera. Siccome poi tutti passano pei due poli, la loro proiezione deve passare pei punti P′ e S′. Qualunque Ellisse dunque, come per esempio X P′ Y S′ (Fig. 39), può rappresentare un Circolo di Declinazione. Se l'angolo che X Y′ Y X′ sulla Sfera fa col meridiano centrale, cioè l'angolo di cui H P′ X rappresenta la proiezione, è dato, si misura (per mezzo del Globo), ovvero si calcola

Digitized by Google

l'Azimut H X.[1] Conoscendo X, si conosce la posizione dell'asse maggiore X Y. Per trovare la lunghezza dell'asse minore $X'Y' \perp XY$, si prolunga Y' X' fino al punto, Z si tira per S' la linea $NZ' \parallel OZ$; allora avremo la proporzione $OX' : OZ = NS' : NZ'$; della quale tutti i membri eccettuato OX' sono conosciuti.

Così si trova la proiezione di un circolo di declinazione qualunque. Nella figura 40 diamo un disegno completo di una proiezione ortografica orizzontale.

68. — Il vantaggio della proiezione ortografica si trova principalmente in ciò, che ci presenta una sfera sotto i varii aspetti come essa si vede da grande distanza. Difatti ci ha servito già continuamente, per rappresentare nelle nostre varie figure quei circoli della Sfera che non coincidono col piano del disegno. Per mezzo di questa proiezione è facile di rendersi conto delle superficie sferiche dei vari corpi celesti (Sole, Luna, Pianeti, anche della Terra stessa) colle loro coordinate sferiche, come vedute da un punto qualunque determinato dello spazio. Per mezzo della medesima si potranno rappresentare, anzi anche sciogliere graficamente, una serie di problemi, che altrimenti restano molto astrusi. Ad ogni modo i principianti dell'Astrometria imparano così più facilmente a rendersi conto del significato nella realtà di un giusto disegno, e viceversa, imparano di fare questi disegni, che formano un aiuto così potente e indispensabile della scienza astronomica.

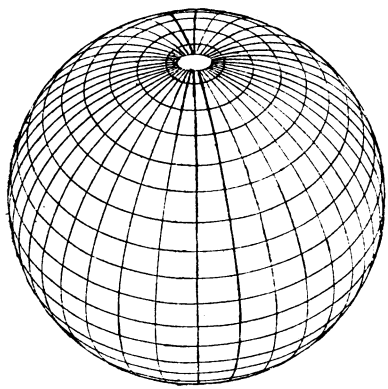


Fig. 40.

(1) Nel triangolo sferico XHP' rettangolare in H, si conosce l'arco $HP' = \varphi$, l'angolo XP'H è dato; quindi si calcola facilmente (come spiegheremo tosto) l'arco HX.

Digitized by Google

Art. III. — Proiezione gnomonica.[1]

69. — Ora veniamo alla proiezione la più complicata, ma allo stesso tempo la più appropriata, poichè ci dà l'aspetto della Sfera celeste, proiettata dal centro della Sfera sopra un piano qualunque tangente, da quel punto cioè, dove in tutta apparenza l'occhio dell'osservatore realmente si trova collocato. È più complicata delle proiezioni precedenti, perchè oltre il Circolo e l'Ellisse, qui incontriamo anche le altre Sezioni coniche, cioè la Parabola e l'Iperbola (almeno nelle proiezioni orizzontali).

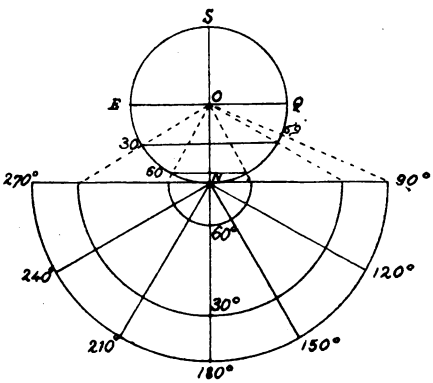


Fig. 41.

70. — *A*) **Proiezione equatoriale** ovvero **polare**. Questa è abbastanza semplice, finchè si tratta di Paralleli e di soli Circoli di Declinazione da proiettarsi; perchè le proiezioni dei primi riescono di nuovo circoli, mentre quelle dei secondi diventano linee rette. Quest'ultimo è il caso di tutti i circoli massimi della Sfera, poichè l'occhio trovasi nei loro piani.

Il resto è immediatamente chiaro dall'ispezione della figura 41. L'Equatore stesso E Q essendo parallelo al piano di proiezione, non può proiettarsi dal punto O sopra di esso.[2] Il limite della nostra proiezione forma il Tropico del Cancro.

71 — *B*) **Proiezione meridionale** chiamiamo anche qui la proiezione sopra un piano parallelo ad un dato Meridiano tangente alla Sfera in un punto equatoriale. Immaginiamo per

(1) Il nome sarà spiegato al num. 73.

(2) Forse per questa ragione alcuni preferiscono il nome di Proiezione polare (intorno al Polo) invece di equatoriale.

Digitized by Google

esempio una Sfera co' suoi circoli inclusi in un cubo A C' (Fig. 42), di modo che i sei piani del Cubo siano tanti piani tangenti alla Sfera nei punti P P', E Q, E' Q'. Di più l'asse della Sfera P P' sia parallelo allo spigolo A B ecc. allora un occhio collocato nel centro O proietterà verso P una proiezione equatoriale della regione polare P, verso P' una proiezione simile della regione polare P'. Le quattro faccie laterali si divideranno in quattro proiezioni meridionali delle regioni di qua e di là dell'Equatore. Spiegando una di queste, tutto sarà spiegato.

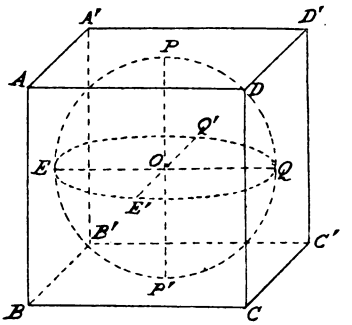


Fig. 42.

72. — Tutti i Circoli di Declinazione essendo circoli massimi, si proiettano come linee rette e parallele tra loro. La loro distanza rispettiva viene data dalla continuazione della proiezione polare ribattuta nello stesso piano.

Sia (Fig. 43) E C Q la metà dell'Equatore, diviso secondo l'ascensione retta di 15° in 15°. L'occhio collocato in O proietta il punto A corrispondente all'ascensione retta di 135° in A', il punto B (45°) in B' sul piano A' B' tangente alla Sfera in C (90°). I punti A', D, C, F, B', indicano la distanza dei Circoli di Declinazione nella proiezione, della quale il rettangolo A' B' N L mostra la parte superiore, corrispondente all'emisfero boreale.

I Paralleli si proiettano come iperbole, i vertici delle quali G, D', sono facilmente determinabili, essendo C D' = C D ecc. Per conoscere i punti d'intersezione di dette iperbole con un Circolo di Declinazione qualunque, p. es. quello di 135°, basta alzare in A' la perpendicolare A' Y ⊥ O A', e notare i punti X ed Y, nei quali questa perpendicolare interseca il prolungamento dei raggi, che distano uno dall'altro di 15°; troviamo così A' X' = A' X = B' X''; A' Y' = A' Y = B' Y''. La ragione si è, perchè l'occhio dell' osservatore in O vede il detto Circolo di Declinazione, come una linea perpendicolare eretta sull'orizzonte nel punto A', quindi il parallelo di 15° all'altezza di ∢ A'O X = 15°. Simili perpendicolari alzate in D ecc. for-

Digitized by Google

niscono i punti d'intersezione colle rette parallele a C M. Tutto il resto si fa chiaro con una semplice ispezione della figura.

Avendo inteso così la costruzione grafica, sarà facile esprimere, se si voglia, i risultati con delle formole trigonometriche, che per amore di brevità tralasciamo.

73. — *C.* **Proiezione orizzontale.** Di questa dobbiamo contentarci di dare un cenno generale con qualche figura illustrativa (Fig. 44).

Il Circolo P E S Q rappresenti una sezione della Sfera celeste, E Q quella dell'Equatore, in A, B, C, G vediamo quella

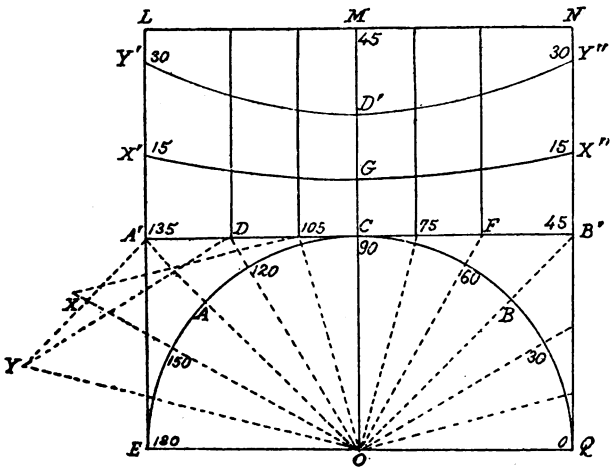


Fig. 43.

di alcuni paralleli. La sfera stia in contatto col piano (tangente) di proiezione nel punto B (45° di Decl.), del quale FF' rappresenta quindi l'orizzonte razionale.

I raggi visuali intorno ad un parallelo qualunque, p. es. C D prolungati fino all'intersezione col piano di proiezione, formano la superficie di altrettanti coni, secati dal piano; i Paralleli proiettati sul piano saranno altrettante sezioni coniche (num. 51), C' D' sarà l' asse maggiore di un' Ellisse, B sarà il vertice di una Parabola, A' di un'Iperbola; da Q' parte una linea retta ($\perp$ Q' P'), proiezione del Circolo massimo equatoriale; G' sarà di nuovo vertice d' una Iperbola, voltata però colla convessità verso l'Equatore.

Digitized by Google

I Circoli di Declinazione (essendo circoli massimi) si proietteranno tutti come linee rette che s' incrociano nel punto P', proiezione del Polo.

Uno stilo (Gnomone)[1] O B, piantato perpendicolarmente sopra un piano verticale, descrive coll'estremità dell'ombra le stesse curve sul piano, mentre il Sole percorre col suo moto diurno il parallelo rispettivo, base del cono opposto al vertice, cogli intervalli di un'ora toccando le singole linee orarie proiettate. Indi ebbe origine l'Arte gnomonica o sciaterica, cioè l'Arte di indicare il tempo per mezzo dell'ombra solare, donde il nome di **Proiezione gnomonica.**

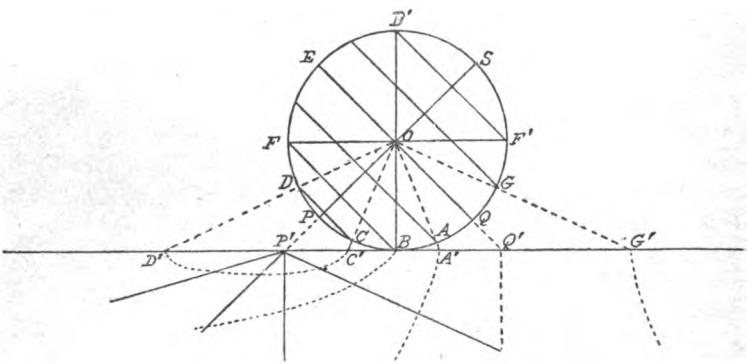


Fig. 44.

74. — La Proiezione gnomonica diventa utile, dove devono tracciarsi circoli massimi sulla Sfera proiettata tra due punti dati, p. es. nell' osservazione del fenomeno delle stelle cadenti, le quali ordinariamente sembrano descrivere sulla Sfera celeste delle linee rette da una stella all'altra. Ora se un osservatore, notando le due stelle, volesse sopra di una carta delineare la traiettoria apparente, questa non sarebbe più una linea retta sulla carta, se la carta non è fatta con proiezione gnomonica. Notando invece molte traiettorie sopra quest'ultima, si scorge immediatamente il fatto (del resto conosciuto), che quelle meteore sembrano in gran parte provenire da uno stesso punto (Radiante) del cielo.

(1) Dal greco γνώμον (indice, stilo).

Digitized by Google

Questi vantaggi però non escludono l'incomodo, che le costellazioni abbastanza lontane dal centro di proiezione, sopra di questa appariscono assai deformate. Ciò potrebbe sembrare essere in contraddizione col detto di sopra, che cioè la proiezione gnomonica ci rappresenta il cielo come lo vediamo; se noi però esaminando la carta teniamo l'occhio fisso al disopra del disegno nel punto centrale del Globo proiettato, tutto apparirà come sul cielo, ma non se esaminiamo, ponendo l'occhio altrove, le singole costellazioni una per una.

Corollario. — Proiezioni con Sviluppi.

75. — Vi sono molti altri artifizi di rappresentare « la rete » dei circoli della Sfera celeste, dei quali si usa ora l'uno, ora l'altro secondo i bisogni del caso particolare. Se per esempio nella figura 42 immaginiamo il Globo circondato non da un cubo, ma da un cilindro retto, l'asse del quale coincida coll'asse P P′ della Sfera, e di cui le sezioni ortogonali siano tutti uguali all'Equatore del Globo, si vede senz'altro, che le proiezioni gnomoniche del Globo sulle basi circolari del cilindro sarebbero identiche con quelle della figura 41. — Le proiezioni poi dei Circoli di Declinazione sulla superficie cilindrica sarebbero tutte linee rette ed equidistanti; i paralleli si proietterebbero come altrettanti circoli uguali e paralleli all'Equatore, la distanza dei quali si trova in modo analogo come abbiamo trovato i vertici delle Iperbole (num. 72).

Ora aprendo una tale superficie cilindrica e sviluppandola (come l'involucro d'un rotolo in un piano), anche tutti i paralleli diventano linee rette, e così avremo una proiezione molto comoda con **Sviluppo cilindrico**, che si presta principalmente per rappresentare le regioni equatoriali del cielo con una deformazione minima.

76. — In maniera somigliante si possono fare degli **Sviluppi conici**: proiettando cioè la Sfera sopra un Cono circoscritto, aprendo poi la superficie del cono lungo una delle linee generatrici del medesimo; sviluppandola poi in un piano, si ottengono delle proiezioni utilissime. Sia p. es. (Fig. 45) il triangolo equilatero A B C la sezione di un tal cono, l'asse del quale

Digitized by Google

C S coincida colla direzione dell'asse del mondo S N (Sud–Nord), Q Q′ rappresenti l'Equatore. I punti di contatto colla Sfera inclusa saranno S (il polo Sud), D ed E alla Declinazione di 30° verso Nord, essendo l' arco S D = D E = E S = $\frac{1}{3}$ 360° = 120° = 90° + 30°. Ora supponendo l' occhio dell'osservatore in S e proiettando la Sfera sulla superficie interna, sviluppandola nel modo indicato, la figura sviluppata sarà un semicerchio perfetto. Poichè la Circonferenza della base del cono [2 π . A S = π . A B = π . A C] rappresenta il semicerchio sviluppato intorno a C col raggio C A. Compiendo il circolo si può senza il difetto della continuità dello sviluppo, rappresentare due volte la Sfera celeste. Ricomponendo il cono materialmente, e guardando le sue costellazioni per un forellino, praticato nel centro della base, si avrebbe un aspetto del cielo stellato assai fedele.

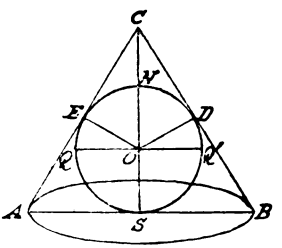


Fig. 45.

77. — Vi sono finalmente gli **Sviluppi coi paralleli equidistanti**, delineati concentricamente intorno ad uno dei poli. Ciascun Circolo di Declinazione è sviluppato separatamente in linea retta sul piano tangente al polo, rimanendo nel suo piano primitivo, ossia conservando gli angoli sotto i quali s' intersecano al polo. Tali disegni sono assai facili, e se non s' inoltrano troppo oltre l'Equatore nell'altro Emisfero, le deformazioni sono poco sensibili.

Se un tale disegno [1] viene coperto con un cartone, il quale lasci libera la sola parte del cielo visibile, sopra un'Orizzonte determinato, col girare della carta intorno al suo polo, si possono riprodurre varii fenomeni, specialmente il nascere e tramontare degli astri, rispetto allo stesso Orizzonte: insomma avremo una specie di Globo celeste, ridotto ad un disco piano: un **Planisferio** (Fig. 46). Con simile metodo sarà pure facile di trasformare quasi istantaneamente un sistema di coordinate in un altro (sovrapponendo varii planisferi trasparenti), di

(1) Meglio ancora se rappresenti una proiezione stereografica equatoriale.

Digitized by Google

sciogliere varii problemi di Trigonometria sferica ecc. Così il Planisferio diventa una vera macchina calcolatrice. (1)

(1) Simili apparati, lavorati anche in metallo, erano in grande uso presso gli antichi dal tempo di Ipparco fino al secolo XVII. Con proiezioni sovrapposte, scorrevoli l'una sopra l'altra, si scioglievano graficamente una serie di problemi astrometrici con grande approssimazione, almeno per quei tempi. Quanto era caro questo «Astrolabium planisphaerium» a quegli Astronomi, lo mostra la ricca letteratura dei trattati, che descrivono la sua costruzione ed il suo uso. Basti nominare quello del P. Clavio pubblicato nel 1611 in Magonza: «Astrolabium tribus libris explicatum».

Fig. 46.

Digitized by Google

PARTE SECONDA

RELAZIONE TRA LA SFERA CELESTE ED IL TEMPO

CAPITOLO I.

LE VARIE NOZIONI DEL TEMPO.

78. — Il tempo (disse già Aristotele) sembra essere identico col moto della Sfera celeste. [1] Infatti noi misuriamo il tempo per mezzo del moto. Sapendo p. es. che un viaggiatore ha percorso un certo spazio, e conoscendo la velocità colla quale egli suole fare il suo cammino, noi possiamo conosceere, quanto tempo abbia impiegato. Ma affinchè questo nostro giudizio sia (generalmente parlando) esatto, la detta velocità dovea essere uniforme; cioè il viaggiatore deve percorrere in tempi uguali spazii uguali. Se troviamo dunque nella natura una cosa che si muove con moto continuo ed uniforme, se inoltre abbiamo un modo di misurare le varie parti di questo moto, avremo un perfetto misuratore del tempo, un perfetto Cronometro. [2] Ora tutte queste condizioni si verificano nel moto diurno apparente della Sfera celeste intorno al suo asse. Questo moto è un moto continuo, un moto uniforme, un moto ben visibile, ben controllabile; era dunque ben naturale che dal principio della cultura del genere umano, il Moto della Sfera celeste fosse scelto come prototipo di tutte le varie misure del tempo.

79. — **Il periodo** [3] **naturale primitivo** del tempo è quindi una rotazione della Sfera celeste. Il compimento di questa prima unità di tempo, chiamata giorno, si manifesta nell'in-

(1) Phys. l. 4, text. 133.
(2) Χρόνος (tempo).
(3) Dal greco περίοδος, che significa appunto una circolazione.

Digitized by Google

tervallo di due successive culminazioni della stessa stella fissa, al medesimo Meridiano di un luogo qualunque.

Di giorno però le stelle non si vedono ad occhio nudo; perciò invece di una stella fissa si usa piuttosto il Sole, per controllare il moto della Sfera; ma siccome quest'astro del giorno non ritiene una posizione fissa sulla Sfera celeste, ma si sposta da un giorno all'altro circa di un grado da Ovest verso Est, il periodo misurato tra due appulsi consecutivi del Sole al medesimo Meridiano riesce un poco più lungo. Sarà dunque necessario di distinguere il **giorno sidereo** [1] dal **giorno solare.**

80. — Di più essendo variabile lo spostamento del Sole da un giorno all'altro, i giorni solari sarebbero variabili, se uno volesse regolarsi coi rispettivi veri passaggi del Sole al Meridiano. Per ovviare a questa difficoltà, gli Astronomi invece del Sole vero immaginano un Sole fittizio (medio), il quale eseguisce questi spostamenti giornalieri (nel senso dell'ascensione retta) con uniformità, compiendo il suo giro annuo insieme col Sole vero (apparente), ma con moto pure uniforme. Da questo nacque la distinzione tra **tempo solare vero** (o apparente) e **tempo solare medio.**

81. — Il principio dei varii periodi, chiamati **giorni**, [2] si computa diversamente. Il giorno siderale incomincia col passaggio del Punto d'Ariete, cioè del punto di intersezione dell'Equatore coll'Eclittica (num. 32), al Meridiano locale.

Pel giorno solare si prestano quattro punti facilmente osservabili durante una rivoluzione intera: La culminazione superiore, la culminazione inferiore, tutte due osservabili nel Meridiano, il levare e tramontare rispetto all'Orizzonte.

Tutti questi punti sono stati adoperati in varii tempi e da varie nazioni.[3] La culminazione superiore, meglio

(1) Dal latino Sidus (Stella).

(2) La parola Giorno qui si adopera nel senso della parola greca νυχθήμερον; comprende cioè lo spazio di una giornata ed una notte. Col nome di Giorno artificiale suol indicarsi lo spazio di tempo, durente il quale il Sole sta sopra l'orizzonte (tempo del lavoro degli artisti).

(3) « Quidam a meridie, quidam ab occasu, quidam a media nocte, quidam ab ortu solis diem incipiunt. Ecclesia tamen Romana diem a media nocte incipit ». S. Tommaso: Summa theol. III, q. 80, a. 8 ad 5.

Digitized by Google

osservabile, serve generalmente di principio agli Astronomi. Questi cominciano il loro **giorno astronomico** col passare del Sole (fittizio) al Meridiano locale.

Negli usi civili si adopera comunemente la culminazione inferiore del Sole, cioè si comincia un nuovo giorno a mezzanotte. Questo momento, nel quale cessa la vita attiva e commerciale, senza dubbio sembra più conveniente al cambiamento della data.[1] Il tempo computato in questo modo, chiamasi semplicemente **tempo civile.**

Col levar del Sole molti orientali (Babilonesi, Persiani) solevano principiare il loro periodo giornaliero. Il tempo computato secondo quest'uso, suol perciò distinguersi col nome di **tempo babilonico.**

Il tramontar del Sole fu per lungo tempo il segnale del nuovo giorno in Italia. Indi il nome di **tempo italiano** ed ore italiane.

I due ultimi metodi oramai sono quasi interamente abbandonati. Si raccomandavano una volta all'uso volgare per la facilità di osservare i suddetti fenomeni, benchè gli inconvenienti non fossero pochi, p. es. il frequente spostarsi di tali periodi; la difficoltà di una suddivisione uniforme, ecc.

82. — Il periodo d'un medesimo giorno (principio, mezzo e fine) è una cosa locale, identica soltanto per quelli che tro-

(1) Gli Astronomi cambiano la data a mezzogiorno, ritenendo dalla mezzanotte fino a mezzogiorno quella del giorno civile precedente. Dunque, per esempio, 26 maggio 15^h di tempo astronomico equivale in tempo civile 27 maggio 3^h della mattina. Il computo civile, generalmente parlando, avanza il computo astronomico di 12 ore. Dove prevale ancora l'uso di contare nel giorno civile 0^h–12^h a. m. (ante meridiem) e 0^h–12^h p. m. (post meridiem) si suole dare la trita regola: Per mutare il tempo civile *p. m.* in tempo astronomico niente deve cambiarsi; per *a. m.* la data deve diminuirsi di un giorno, le ore però aumentansi di 12^h. Così 3 nov. 3^h *p. m.* tempo civile $=$ 3^h tempo astronomico 3 nov. Ma 3 nov. 3^h *a. m.* tempo civ. $=$ 2 nov. 15^h tempo astronomico. [Si noti poi che le nozioni di tempo astronomico e tempo sidereo non sono identiche].

Per il tempo siderale si adopera la data del giorno solare astronomico. Qualche rara volta (essendo il giorno solare più lungo del giorno sidereo) può accadere, che dentro un tal periodo comincino due giorni siderei. Il primo, per esempio, alle 0^h 1^m tempo solare medio, il secondo alle 23^h 57^m $4^s{,}09$; allora trattandosi del tempo sidereo di quel giorno, per quei pochi minuti ambigui ci vuole una nota.

Digitized by Google

vansi sullo stesso Meridiano (almeno dalla stessa parte tra i due poli); quindi ciascun Meridiano ha il suo **tempo locale.** Un Meridiano distante dal nostro in longitudine di 15° verso Ovest, avrà il suo mezzogiorno un' ora più tardi di noi; un altro, che disti 15° verso Est, un'ora prima di noi. Cioè quando il nostro orologio segna le 12^h, quest'ultimo segnera le 13^h, quell'altro le 11^h. Se noi abbiamo mezzogiorno, quelli che si trovano dalla parte opposta del medesimo Meridiano avranno mezzanotte. Insomma la differenza dell' ora locale di luoghi diversi si conosce dalla differenza della longitudine geografica dei medesimi.

Per gli usi civili, già da qualche tempo, si è introdotto un tempo più universale, scegliendo cioè il tempo locale di qualche luogo insigne e centrale del paese. Così in Italia si computava secondo il Tempo di Roma, in Francia si adoperava quello di Parigi, in Inghilterra quello di Londra (ossia di Greenwich), ecc.

La facilità delle comunicazioni, anche a grandi distanze, e la celerità dei viaggi hanno ultimamente reso desiderabile una maggiore uniformità ed una più facile trasformazione dei vari tempi internazionali, almeno negli usi civili e commerciali. Si è quindi convenuto di stabilire dei **Meridiani normali** distanti 15°, ossia esattamente un'ora l'un dall'altro. Il primo passa per il Meridiano di Greenwich e determina il tempo dell'Europa occidentale, (1) il secondo (15° distante da questo verso Est) attraversa l'Europa centrale, il terzo (30° da Greenwich) determina il tempo dell'Europa orientale (Russia e paesi balcanici). Così un viaggiatore trova lo stesso tempo (dell'Europa centrale) non soltanto in tutta l'Italia, ma nella Germania, Austria-Ungheria, Danimarca, Svezia, Norvegia, ecc. ma se anche passa nella Zona dell' Europa orientale o occidentale il suo orologio va sempre bene, basta che cambi l'ora sola (lasciando intatti i minuti e secondi).

83. — Se trattasi di differenze di tempi locali, nel senso stretto della parola, le trasformazioni si fanno pure senza difficoltà, se si conosce la differenza di longitudine geo-

(1) Proposto per l'uso della Granbretagna, Olanda, Belgio, Francia, Spagna e Portogallo.

Digitized by Google

grafica, che passa tra i luoghi in quistione. La differenza sarà poi da aggiungersi o da sottrarsi, secondochè l'altro Meridiano si trova verso Levante o verso Ponente dal nostro.

Siccome poi la **Suddivisione del giorno** suol farsi in 24 ore, quella dell'ora in 60 minuti, quella di un minuto in 60 secondi,(1) avremo l'equivalenza di $360° = 24$ ore, e poichè anche il grado viene suddiviso in 60′ (minuti di arco) il minuto in 60″ (secondi di arco):

$$1^h = 15° \qquad 1° = \frac{60^m}{15} = 4^m$$

$$1^m = 15' \qquad 1' = \frac{60^s}{15} = 4^s$$

$$1^s = 15'' \qquad 1'' = \frac{1^s}{15} = 0{,}666$$

Se vogliamo per esempio trasformare $10^h\ 25^m\ 39^s{,}18$ in gradi, ecc. avremo:

$$\begin{aligned} 10^h &= 150° \\ 25^m &= 6°\ 15' \\ 39^s &= 9'\ 45'' \\ 0^s{,}18 &= 2''{,}70 \\ \hline 10^h\ 25^m\ 39^s{,}18 &= 156°\ 24'\ 47''{,}70 \end{aligned}$$

84. — Questa equivalenza di Gradi ed Ore, di misure angolari e di misure del tempo, è di grande importanza per l'astrometria. Se, per esempio, una stella equatoriale passa un'ora dopo il punto d'Ariete al meridiano di un luogo, sappiamo immediatamente che la sua Ascensione retta è uguale a 15°, e viceversa se una stella, l'ascensione retta della quale è uguale a 15°, passa al Meridiano, un orologio regolato col tempo siderale deve segnare precisamente 1^h.

(1) Anticamente si continuava la suddivisione secondo il sistema della divisione sessagesimale: 1 secondo = 60 terzi, 1 terzo = 60 quarti, 1 quarto = 60 quinti, ecc.

Nelle abbreviazioni si suol usare la lettera iniziale latina *d* (dies) per indicare i Giorni, *h* (hora) per le Ore, *m* e *s* per Minuti e Secondi, che combinano colle espressioni italiane.

I minuti e secondi di arco si notano cogli apici ′ ″.

Digitized by Google

Nè meno è necessario che la detta stella si trovi sull'Equatore, perchè tutte le stelle che trovansi sopra lo stesso circolo di declinazione passano allo stesso tempo al Meridiano ed hanno la medesima ascensione retta. Basta quindi conoscere l'Ascensione retta di una stella, per conoscere il suo passaggio al Meridiano locale, basta pure osservare il passaggio d'una stella di nota Ascensione retta, per conoscere l'ora, i minuti e secondi corrispondenti del giorno sidereo. Anzi sui globi, sulle carte stellari come nei calcoli, l'Ascensione retta si suole esprimere immediatamente in Ore, Minuti e Secondi di tempo.

Dal detto segue, che il tempo siderale di un luogo potrebbe chiamarsi l'Ascensione retta del suo meridiano. La facilità e prontezza della determinazione di questo tempo spiegano perchè gli astronomi preferiscano ordinariamente di registrare le loro osservazioni per mezzo del tempo sidereo.

85. — Spesse volte occorre il caso di dover cambiare la espressione di un tempo nell'altro. Per la **trasformazione del tempo sidereo nel tempo solare medio** e viceversa, serve di norma, che a cagione del giro intero apparente fatto dal Sole da Ovest verso Est sulla Sfera celeste in un anno $365\frac{1}{4}$ giorni solari equivalgono a $366\frac{1}{4}$ giorni siderali.

Donde per la trasformazione[1] ricaviamo:

	Tempo solare medio		Tempo sidereo
Tempo sidereo	1^d =	$23^h\ 56^m\ 4^s,0906$	Tempo solare medio 1^d = $1^d\ 0^h\ 3^m\ 56^s,5554$
	1^h =	$59^m\ 50^s,1704$	1^h = $1^h\ 0^m\ 9^s,8565$
	1^m =	$59^s,8362$	1^m = $1^m\ 0^s,1643$
	1^s =	$0^s,9973$	1^s = $1^s,0027$
	$0^s,01$ =	$0^s,00997$	$0^s,01$ = $0^s,01003$

COROLLARIO. — ORIGINE DELLA DIVISIONE DEL CIRCOLO IN 360° E DEL GIORNO IN 24 ORE.

86. — La prima e naturalissima divisione di un circolo (Fig. 47) è quella in quattro parti uguali, divisione fatta da due diametri AA′ e BB′, che s'intersecano ad angolo retto.

(1) Apposite tavole facilitano questi cambiamenti, dei quali vedremo presto l'applicazione pratica.

Digitized by Google

Questa divisione principale abbiamo già incontrata in tutti i Circoli massimi della Sfera celeste.

Dopo questa, è pure facilissima la divisione della Circonferenza di un Circolo in 6 parti uguali; perchè il lato A C di un esagono regolare iscritto A C D A′ C′ D′ è uguale al raggio A O del Circolo.

La **divisione sessagesimale** si raccomanda per la grande divisibilità di questo numero. Infatti da 1 fino a 100 non v'ha un altro numero, che ammetta tanti fattori comuni, come vedesi da questo specchietto:

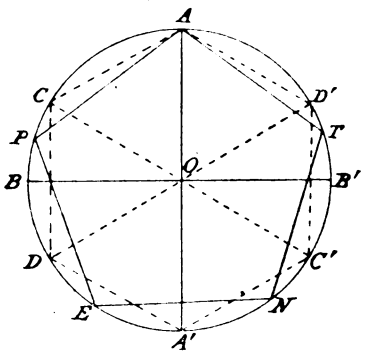


Fig. 47.

2	3	4	5	6
30	20	15	12	10

nel quale ogni numero della prima riga moltiplicato con quello che si trova di sotto nella seconda, dà il prodotto 60.

Da questa riflessione nacque probabilmente l'idea di assegnare 60 parti, ossia 60° a ciascuna delle 6 divisioni principali: $\measuredangle AOC = COD = 60°$; dividendo poi di seguito 1° in 60′, 1′ in 60″ ecc. Così tutta la circonferenza era da dividersi in $6 \times 60 = 360°$.

Tale divisione era pure geometricamente eseguibile almeno fino agli ultimi tre gradi. Infatti si può iscrivere un pentagono regolare P E N T A in un circolo. Se con c indichiamo tutta la circonferenza, avremo per gli archi:

$$BD = AD - AB = \left(\frac{2}{6} - \frac{1}{4}\right)c = \left(\frac{4}{12} - \frac{3}{12}\right)c = \frac{c}{12}$$

$$DE = AE - AD = \left(\frac{2}{5} - \frac{2}{6}\right)c = \left(\frac{6}{15} - \frac{5}{15}\right)c = \frac{c}{15}$$

$$BD - DE = \left(\frac{1}{12} - \frac{1}{15}\right)c = \frac{5}{60} - \frac{4}{60} = \frac{c}{60}.$$

Dividendo questa parte sessagesima della circonferenza per mezzo, avremo $\frac{c}{120}$, ossia 3°.

Digitized by Google

Quest'ultimo risultato ci mette (è vero) davanti l'arduo problema della trisezione d'un angolo, la soluzione geometrica del quale ha affaticato tanti ingegni. L'esecuzione pratica però non è tanto difficile.

87. — Vi è pure una ragione strettamente astronomica, che senza dubbio ha suggerito la detta divisione in 360°. Il Sole impiega $365\frac{1}{4}$ giorni a percorrere il suo circolo massimo sulla Sfera celeste. La Luna compie in un tale periodo 12 volte il suo giro; anzi per il compimento di queste 12 lunazioni ci vogliono soltanto $354\frac{1}{3}$ giorni. Ora il numero medio (tondo) tra $365\frac{1}{4}$ e $354\frac{1}{3}$ è appunto il numero 360.

Siccome poi le 12 lunazioni sono state l'occasione della divisione dello Zodiaco in 12 segni, così la stessa divisione del giorno in 12 ovvero in 2 volte 12 ore sarà stata la legittima conseguenza. Quest'ora raddoppiata, cioè un dodicesimo del giorno, equivalente a 30°, si è ritrovato ultimamente tra i documenti della Caldea antica, che indubitatamente deve considerarsi come la culla della scienza Astronomica. (1)

CAPITOLO II.

DETERMINAZIONE DEL TEMPO PER MEZZO DELL'OMBRA SOLARE

88. — **Gnomonica** ovvero **Sciaterica** (2) chiamasi l'arte di determinare il tempo per mezzo dell'ombra solare, gettata da uno Stilo (γνώμων) fissato sopra un piano. Questo ramo della Geometria proiettiva a cagione della sua eleganza ed utilità è stato coltivato con una certa passione, specialmente in quei paesi, che godono ordinariamente d'un cielo sereno.

(1) Sui mattoncelli di terracotta coperti di scrittura cuneiforme incontriamo pure la divisione del giorno in sei parti uguali, ciascuna parte equivalente a 4^h (ore nostre); ogni parte è divisa di nuovo in sessanta suddivisioni (4^m ciascuna); ogni suddivisione in altre sessanta parti (ciascheduna $= 4^s$). Ecco un'altra prova del sistema sessagesimale antichissimo; i vantaggi del quale l'hanno fatto trionfare sopra il sistema decimale, tanto comodo in altre cose, fino ai tempi nostri.

(2) Dal greco σκία (ombra) e δήρα (indice).

Digitized by Google

Quasi in ogni paese e villaggio dell'Italia s'incontrano Orologi solari, disegnati con maggiore o minore esattezza, con maggiore o minore artifizio.

Numerosissimi sono i trattati di Gnomonica, composti e pubblicati nel decorso dei secoli (1) fino ai giorni nostri. I documenti che attestano l'esistenza di orologi solari, rimontano fino al secolo XII (a. C.). Gli obelischi dell'Egitto, dedicati al Sole, servirono talvolta come Gnomoni giganteschi e come tali furono trasportati in Roma per essere ivi utilizzati allo stesso scopo.

Meridiane monumentali si ammirano ancora oggidì in Roma: nella chiesa di S. Maria degli Angeli, nella cosidetta « Torre dei Venti » del palazzo Vaticano, nella piazza di S. Pietro dietro il grande Obelisco. Simili linee meridiane furono con squisita esattezza costruite nella chiesa di S. Petronio in Bologna, nelle chiese principali di Milano, Parigi, Marsiglia, Breslavia ecc. È vero, che oltre lo scopo di indicare il momento del vero mezzogiorno, queste Meridiane servirono alla verificazione di molti altri fenomeni astronomici: erano veri Osservatorii che potevano fornire gli elementi necessari per l'emendazione del Calendario, per la fissazione delle feste mobili e così via discorrendo.

89. — Oggidì la Gnomonica, a cagione del perfezionamento dell'arte meccanica nella costruzione di orologi a ruota, non ha più quell'importanza pratica, che aveva una volta. Nondimeno i suoi problemi rimangono sempre un bel campo d'esercizi per gli studenti d'astronomia e servono mirabilmente a rendere questi famigliari coi concetti astratti dell'astrometria. Anche **l'utilità pratica** non è cessata del tutto. Se nelle grandi città si suole avere un segnale pubblico che determina bene il tempo, almeno una volta al giorno, nei paesi più lontani dai centri della vita pubblica e commer-

(1) Nella Bibliographie générale de l'Astronomie di J.-C. Houzeau e A. Lancaster (Bruxelles, 1887), si enumerano 500 opere ed opuscoli sulla Gnomonica. Uno dei trattati più perfetti e completi è senza dubbio quello del P. Clavio S. I.: « Gnomonices libri octo, in quibus non solum horologiorum solarium, sed aliarum quoque rerum quae ex gnomonis umbra cognosci possunt, descriptiones geometrice demonstrantur ». Romae, 1581, 1587, 1602; Moguntiae, 1611.

Digitized by Google

ciale, questa facilità non si trova. Quivi un orologio solare, almeno una Linea Meridiana esattamente tracciata può rendere eccellenti servizi per la rettifica degli orologi ordinari a ruota, i quali non sono sempre dotati di quei perfezionamenti, che li rendono superiori agli errori ed inconvenienti, che si sperimentano pur troppo in simili circostanze. Tratteremo quindi nei seguenti capitoli (colla dovuta brevità) le quistioni principali dell'arte sciaterica, rimandando i lettori, che desiderassero uno svolgimento più ampio di questa materia, ai trattati particolari.

Prenozioni.

90. — Gnomone (*indice*) chiamavasi una volta lo Stilo perpendicolarmente eretto sul piano dell'orologio. Quello però che indica propriamente l'ora è piuttosto il vertice, ossia l'apice dello stilo, al quale si riserva più giustamente il nome di Gnomone. Quest' apice potrà essere la punta di uno stilo qualunque, potrà essere un forellino praticato in una lastra, per il quale il raggio solare cada sulle linee orarie.[1] Siano (Fig. 48) N S E W due linee incrociantisi in un piano orizzontale nel punto P, orientate perfettamente secondo i quattro punti cardinali Nord, Sud, Est, West. Nel punto P si trovi uno stilo perpendicolare P G, l' ombra del quale a mezzogiorno, quando il Sole trovasi nel piano del Meridiano (N P G), coprirà la linea meridiana P N. Supponiamo il giorno dell'equinozio e l'estremità dell'ombra (del punto G) cada in Q, la linea Q G

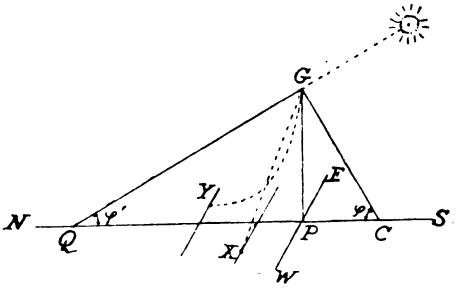


Fig. 48.

(1) Benchè il punto nel piano, dove in tal caso cade la luce solare attraverso il forellino, non sia un punto ombroso ma piuttosto luminoso, nondimeno la nomenclatura ricevuta parla anche qui del Punto d'ombra, intendendo quel punto luminoso, circondato dall'ombra della lastra.

Digitized by Google

indicherà allora sul cielo la posizione dell'Equatore, $CG \perp GQ$ la direzione dell'asse del mondo (Cfr. n. 40), $\sphericalangle GCP = \varphi$ sarà l'altezza polare (latitudine geografica) del luogo, $\sphericalangle GQP = \varphi' = 90° - \varphi$ l'altezza equatoriale (coaltezza polare o collatitudine geogr.).

Ora è evidente, se lo Stilo, invece di avere la posizione verticale PG, avesse quella di CG (parallelo all'asse del mondo), ovvero una posizione inclinata GX, anzi una forma qualunque GY, tutto questo non altererebbe la posizione del punto d'ombra Q sulla Meridiana SN. Il vero momento del mezzogiorno sarebbe indicato nel medesimo modo. Quello poi che diciamo qui della Meridiana, vale lo stesso delle altre linee orarie.

91. — Comunque però il Gnomone G (nel senso predetto) sia fissato, le linee indicate ritengono la loro importanza e godono di una nomenclatura propria: GP sarà da noi chiamato Perpendicolo (del Gnomone); CG (parallelo all'asse del mondo) costituisce l'Asse dell'orologio; il punto P, situato perpendicolarmente (rispetto al piano di costruzione) sotto G, chiamasi Piede del Gnomone; il punto C, dove GC incontra il piano e donde poi dovranno partire le linee orarie, Centro dell'orologio; la PC (proiezione dell'asse GC) linea Sustilare (o Sottostilare). Il punto (Q) dove cade l'ombra di G, dicesi Punto d'ombra.

Ricordiamoci poi delle cose dette da principio (Cfr. n. 5 e 40) sull'apparente parallelismo delle linee visuali condotte ad un astro lontanissimo; anzi i raggi solari sopra tutta l'estensione del Globo terrestre possono senza errore sensibile considerarsi come paralleli; quindi la costruzione d'un orologio solare si potrà fare in modo, come se fosse fatto nel centro della Terra. Soltanto l'orizzonte ed il meridiano vengono determinati dalla posizione del costruttore in un luogo particolare della superficie terrestre; i piani dei circoli massimi della Sfera celeste passano (sensibilmente) per lo gnomone G.

92. — Per amore di brevità escludiamo dalla nostra considerazione gli orologi solari atti ad indicare il tempo babilonico ed italiano (Cfr. n. 81), ed anche quelli che non si riferiscono ad un piano, ma ad una superficie curva (cilindro, cono, ecc.) qualunque. Tra i Piani dell'Orologio poi considereremo

Digitized by Google

particolarmente tre posizioni distinte, cioè un piano equatoriale, orizzontale e verticale.

Linea Meridiana si chiama la linea di intersezione del piano rispettivo col piano del Meridiano.

Ecco a che si riducono (colle accennate limitazioni) i problemi della Gnomonica: Data una superficie piana (equatoriale, orizzontale, verticale) ed un punto (Gnomone) fuori del medesimo (fisso relativamente al piano), indicare sul piano la linea, dove cade l'ombra del Gnomone ad una data ora di un giorno qualunque dell'anno.

Art. I. — Orologi solari equatoriali.

93. — Il Circolo HMH′M′ (Fig. 49) diviso in 24 parti uguali si trovi collocato nel piano dell'equatore celeste.(1) MM′ sia la Linea Meridiana, allora HH′ ⊥ MM′ sarà una linea orizzontale diretta da Est verso Ovest. Nel centro O sia posto verticalmente sul piano uno stilo, che sarà conseguentemente parallelo all' asse del mondo. Imaginiamo ora cominciando dal piano del Meridiano MM′, dodici piani verticali (sul piano), passanti per le singole divisioni del circolo e che s'intersecano nello stilo, collocato in O, sotto un angolo di 15° in 15°: questi piani indefinitamente prolungati segneranno sulla Sfera celeste i Circoli orarii (Cfr. n. 37), cioè quei circoli massimi, sui quali

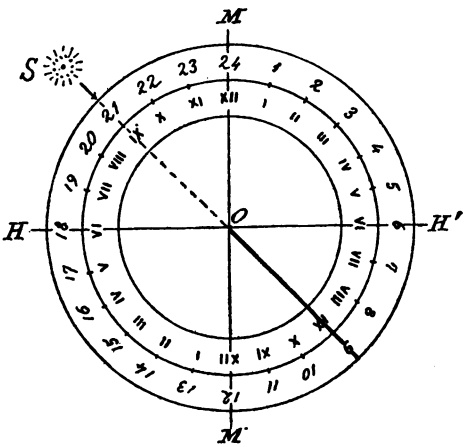


Fig. 49.

(1) Rigorosamente parlando dovrebbe dirsi « parallelo all'Equatore » però abbiamo già avvisato parecchie volte, che l'uno si può sostituire all'altro.

Digitized by Google

si trova il Sole con intervalli di un'ora precisa (tempo solare vero) prima e dopo il suo passaggio al Meridiano, qualunque sia la sua Declinazione.

Per conseguenza l'ombra dello stilo, trovandosi col Sole nello stesso piano orario, ma dalla parte opposta di O, indicherà sul circolo diviso l'ora rispettiva. Il Sole si trovi per esempio nel piano orario delle IX antimeridiane, allora l'ombra indicherà la cifra IX dalla parte opposta del piede del Gnomone. (1)

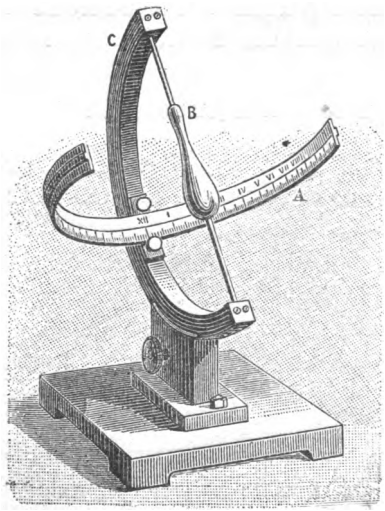


Fig. 50.

Se il Sole si trova al disopra dell'Equatore (con Declinazione boreale), l'ombra si vedrà sulla faccia boreale dell'orologio, se si trova al disotto con Declinazione australe, un simile congegno sulla faccia inferiore del piano equatoriale indicherà le ore in modo analogo.

Vi sarebbe soltanto qualche difficoltà di vedere l'ombra al tempo preciso dell'equinozio, perchè allora il piano adombrerà se stesso. Vi sono però molti modi di rimediare ad un tale inconveniente, modificando un poco la forma dell'orologio. Basterebbe per esempio lasciare un lembo prominente nella parte inferiore HM'H', sul quale l'ombra dello stilo si farebbe ben visibile.

(1) Probabilmente questa è stata la causa di dividere un giorno in due volte dodici ore, invece di ventiquattro, per mantenere lo stesso numero di qua e di là dell'asse del (Mondo) gnomone per lo stesso circolo orario.

Keplero aggiunge anche quest'altra buona ragione, di evitare la noia del tocco della campana ventiquattro volte ripetuto nel silenzio della notte, e la confusione nel contare tanti tocchi. Tutto questo poteva essere un motivo per mantenere l'uso antico.

Digitized by Google

94. — La costruzione di un orologio solare equatoriale è dunque cosa facilissima. Una difficoltà pratica s'incontrerà forse nell'orientarlo precisamente, cioè in modo tale che l'**asse dell'orologio** coincida perfettamente coll'asse del Mondo. Per accertare questo ci vogliono alcune operazioni preliminari: si deve ben assicurare la posizione del piano del Meridiano che passa per lo stilo, e ben determinare l'altezza del polo ossia la latitudine geografica del luogo (Cfr. nn. 38, 39).

Il secondo elemento si potrà cavare con sufficiente esattezza da una carta topografica. Per la determinazione del Meridiano, oltre i metodi già indicati, si potrà pure ricorrere all'uso della Bussola (ago magnetico), purchè si conosca la sua declinazione dal meridiano astronomico e si allontanino dalla medesima tutte le cause perturbatrici (ferri, ecc.). Anzi questo mezzo dovrà essere l'ordinario, quando si tratta di **orologi solari trasportabili,** da orientarsi in pochi momenti. La figura 50 mostra un tale strumentino, una specie di Sfera armillare mutilata col piano equatoriale spostabile secondo la latitudine geografica del luogo di osservazione.[1] La costruzione di tali strumenti può variarsi in mille modi; il principio rimane però sempre lo stesso.

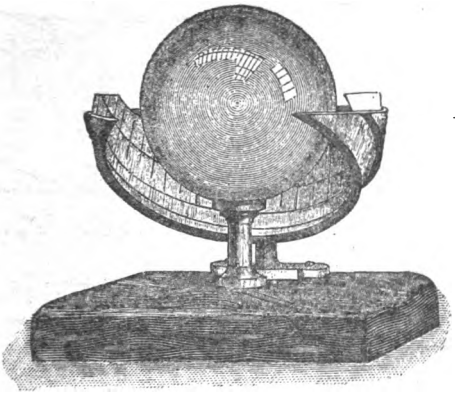


Fig. 51.

95. — Per registrare, per esempio, le ore di sole durante una giornata, i meteorologisti usano una sfera di vetro, collocata nel centro di un anello metallico (Fig. 51), orientato secondo il piano dell'equatore celeste. Sull'anello si colloca una striscia di cartone graduato secondo i piani orarii (come

(1) Il rigonfiamento dell'asse serve ad indicare il tempo medio, come spiegheremo al n. 112 e segg.

Digitized by Google

un orologio solare equatoriale). Una linea in mezzo dell'anello indica la posizione del Meridiano. Il Globo fa le veci d'una lente ustoria. I raggi solari si uniscono dalla parte opposta al Sole ed indicano ivi il tempo, anzi bruciano un tratto della striscia e registrano così le ore rispettive, quando il Sole si fece

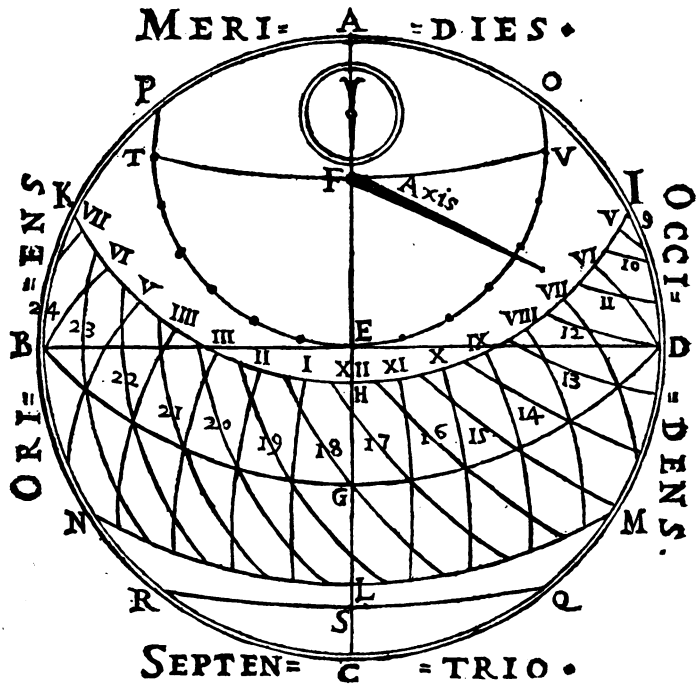


Fig. 52.

vedere tra le nuvole. Abbiamo così allo stesso tempo un Orologio solare equatoriale ed un **Registratore della luce solare.**

Anzi se, per dare maggiore consistenza all'apparato, si sostituisce ai detti due anelli un emisferio solido concavo, avremo più o meno l'orologio solare dei Greci antichi, da essi chiamato Σκάφη (lat. Scaphium, Quadrante) (Fig. 52). [1]

(1) Nella figura qui riprodotta dall'opera del P. Clavio, oltre le linee orarie ordinarie (V-XII-VII), vediamo anche quelle delle ore italiane (9-24).

Digitized by Google

Art. II. — Orologi solari orizzontali.

96. — PM (Fig. 53) rappresenti una linea meridiana di una superficie orizzontale piana, la quale porti il perpendicolo $PG = p$; G rappresenti il Gnomone; $GC = a$ l'asse (del mondo e dell'orologio). Sia $GE \perp GC$ (nel piano del Meridiano); quindi GE si troverà nel piano dell'Equatore celeste, $EQ \perp MP$ indica la linea d'intersezione di questo piano equatoriale colla superficie orizzontale. Sia $\sphericalangle EGQ = 15°$, allora GQ si troverà nel piano del Circolo orario più vicino al Meri-

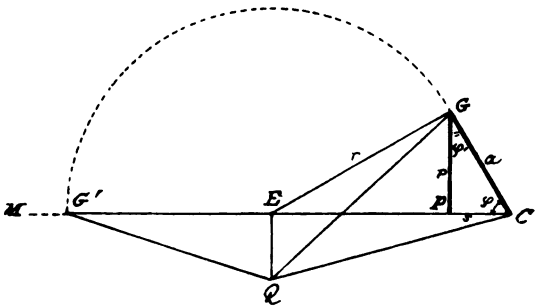


Fig. 53.

diano (delle ore undici), nel quale si trova naturalmente anche l'asse GC e quindi anche la linea CQ, la quale segna sul piano orizzontale l'intersezione del detto piano orario col piano orizzontale. L'ombra di G cadrà dunque necessariamente sulla linea CQ, e precisamente in Q, se il Sole sta sull'Equatore; cadrà invece tra Q e C, se il Sole si trova al disopra del piano equatoriale (primavera ed estate), sul prolungamento di CQ, se il Sole si trova al disotto dell'Equatore (nell'autunno ed inverno).

Al tempo dell'equinozio il Sole percorre col suo giro diurno lo stesso Equatore, quindi anche il punto d'ombra rimane nello stesso piano, cioè percorrerà EQ, linea d'intersezione del piano equatoriale col piano dell'orologio, la quale perciò viene chiamata semplicemente **Linea equinoziale.**

Come abbiamo trovato sulla medesima il punto Q (delle undici) facendo $\sphericalangle EGQ = 15°$, così a 30° da EG troveremo quello delle ore dieci, con 45° quello delle nove, ecc., similmente

Digitized by Google

dall'altra parte della meridiana i punti corrispondenti alle I, II, III, ecc., dopo mezzogiorno.

Per facilitare poi la costruzione, si ribatte il punto G centro del Circolo divisore, col raggio r in G', sul piano di costruzione, facendo girare il $\triangle$ EGQ in $EG'Q$; similmente si ribatte il $\triangle$ PGC sul medesimo piano girandolo intorno a PC

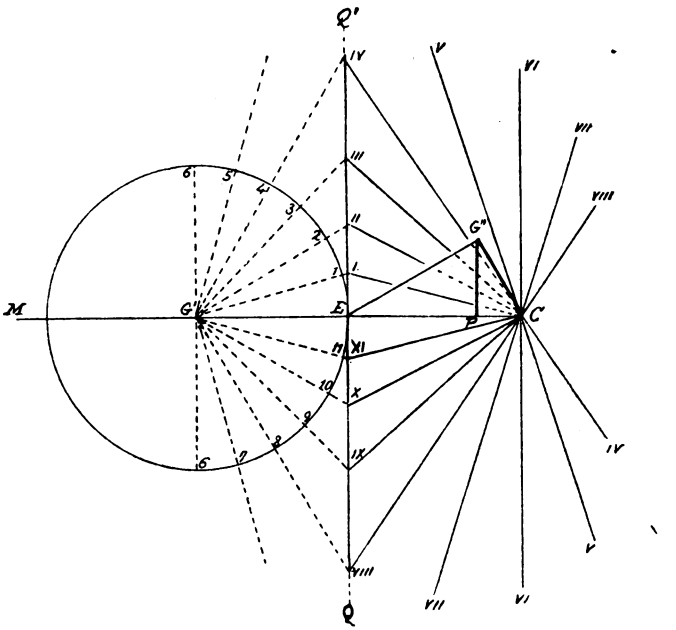


Fig. 54.

come cerniera. Ed ecco la costruzione del disegno sul piano dell'orologio (Fig. 54).

97. — Sia CM la linea Meridiana, P il piede del gnomone, $\measuredangle PCG'' = \varphi =$ latitudine geografica, $G''E \perp CG''$ incontri la Meridiana in E, si fa EQ ed $EQ' \perp CM$, allora QQ' sarà la linea equinoziale; si fa $EG' = EG''$, col raggio $G'E = EG''$ si descrive un circolo intorno a G'. Cominciando dal punto E che corrisponde alle ore 12, si divide la circonferenza con intervalli di 15° in archi uguali, segnando i punti 11, 10, 9, 8, 7, ... verso Ovest; 1, 2, 3, 4, ... verso Est. I raggi tirati dal centro G' a questi punti si prolunghino fino all'incontro colla linea

Digitized by Google

equinoziale nei punti XI, X, IX ..., I, II, III, ... rispettivamente. Dal centro dell'orologio C si tirino poi le linee orarie CXI, CX, CIX, ..., CI, CII, CIII, ... ed ecco trovate le linee sulla direzione dei quali deve cadere il Punto d'ombra (del gnomone) all'ora rispettiva.

La linea G' 6 essendo parallela a QQ' non incontra più la linea equinoziale; così pure la linea oraria condotta per C sarà parallela alla medesima equinoziale. Se il Sole si leva già prima delle VI sull'orizzonte, alle V della mattina si trova evidentemente nello stesso piano orario dove si trova alle V dopo mezzogiorno. Donde si vede che le linee orarie delle V, IV della mattina non sono altro che il prolungamento delle V C, IV C della sera dalla parte opposta, e così parimenti quelle delle VII, VIII, IX della sera saranno il prolungamento delle VII C, VIII C, IX C della mattina oltre C.

98. — Chi preferisce a queste costruzioni grafiche una **espressione trigonometrica** degli angoli E C I, E C II, E C III, ecc. riflettendo che il raggio del circolo divisore $EG' = EG'' = r$, facilmente troverà che

$$\text{tang } E\,C\,I = \text{tang } \alpha = \frac{E\,I}{E\,C} ;$$

$$E\,I = r \text{ tang } 15^\circ = E\,C \cdot \text{sen } \varphi \cdot \text{tang } 15^\circ$$

dunque $$\text{tang } \alpha = \text{sen } \varphi \cdot \text{tang } 15^\circ \qquad (1)$$

Se $\sphericalangle E\,C\,II = \beta$ sarà similmente

$$\text{tang } \beta = \text{sen } \varphi \cdot \text{tang } 30^\circ ;$$

Così $$\text{tang } \gamma = \text{tang } E\,C\,III = \text{sen } \varphi \cdot \text{tang } 45^\circ ; \text{ ecc.}$$

Questi angoli α, β, γ... sono poi perfettamente simmetrici dall'una e dall'altra parte della Meridiana.

Fatta così la costruzione si rialza il triangolo C G'' P (materialmente) sulla Meridiana, di modo che il Gnomone G stia al suo posto e tutto sarà in ordine.

Tirate le Linee orarie intorno al centro C, tutto il resto della costruzione, che ha servito per trovarle, può cancellarsi.

Digitized by Google

Art. III. — Orologi solari verticali.

A) Primo Verticale.

99. — Per l'uso pubblico gli orologi verticali si raccomandano, poichè possono essere veduti anche da grande distanza e da molti osservatori allo stesso tempo. Considereremo prima il caso più semplice di un orologio da costruirsi sopra una superficie che trovasi nel Primo Verticale (Cfr. n. 35), cioè da Est verso Ovest. La costruzione come le formole si rassomigliano del tutto a quello di un Orologio orizzontale, come mostra la seguente analisi, del tutto analoga a quella del n. 96. P M (Fig. 55) rappresenti una linea verticale (tirata per mezzo del filo a piombo sul piano di costruzione. P sia il piede del Gnomone G (cioè G P perpendicolare al piano). C G sia parallelo all'asse del mondo. Allora il triangolo C G P starà nel piano del Meridiano, C M sarà la Linea meridiana (Cfr. n. 92). Nello stesso si trovi G E ⊥ C G. Tirando sulla superficie verticale per E la linea Q Q′ ⊥ C M, avremo in Q Q′ la Linea equinoziale. Sia inoltre ∢ E G U (nel piano equatoriale) = 15°. Tirando per U dal centro C la linea C U, questa situata verso Ovest rappresenterà la Linea oraria delle Undici (XI).

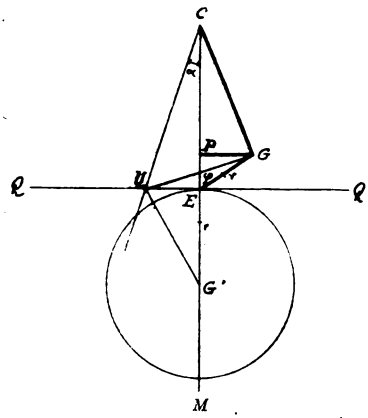


Fig. 55.

Come abbiamo fatto nel caso precedente, così qui basterà prendere sulla E M una distanza E G′ = E G = r, costruire intorno a G′, come centro col raggio r il nostro circolo divisore, trovare le divisioni corrispondenti ai rispettivi angoli orarii, ecc.

100. — Nella Fig. 55 l'altezza polare (lat. geogr.) è rappresentata dall'angolo P G C = φ. Se quest'angolo fosse uguale all'angolo C G P della Fig. 53, cioè alla collatitudine dell'oro-

Digitized by Google

logio orizzontale, la costruzione sarebbe in tutto identica a quella. Donde concludiamo: La costruzione di un orologio solare, nel Primo Verticale, è perfettamente identica a quella di un orologio orizzontale di un luogo, la latitudine geografica del quale è complementare a quella dell'altro.

Lo stesso segue dalla formola trigonometrica.

Nella figura 55 abbiamo:

$$\text{tang } E\,C\,U = \text{tang } \alpha = \frac{E\,U}{E\,C} = \frac{r \cdot \text{tang } 15^\circ}{E\,C};$$

dunque $$\text{tang } \alpha = \cos \varphi \cdot \text{tg } 15^\circ \qquad (2)$$

Così sarà per le linee orarie seguenti

$$\text{tang } \beta = \cos \varphi \cdot \text{tg } 30^\circ; \qquad \text{tang } \gamma = \cos \varphi \cdot \text{tg } 45^\circ, \text{ ecc.}$$

Confrontando queste formole con quelle del num. 98, si vede che i due orologi saranno identici, se la latitudine geografica (φ) dell'uno è il complemento della latitudine geografica (φ') dell'altro; perchè allora, essendo $\varphi = 90^\circ - \varphi'$, sarà pure $\text{sen } \varphi = \cos \varphi'$.

101. — Lo stesso principio si potrebbe enunciare in questo modo: La costruzione di un orologio verticale (non declinante)[1] è identica a quella di un orologio orizzontale fatto per un luogo, che abbia l'orizzonte parallelo al suddetto piano verticale.

Infatti se (Fig. 56) il circolo P A A′ P′ rappresenta una sezione meridiana della Terra, P P′ l'asse terrestre (del mondo) A ed A′ due luoghi, le cui verticali Z A e Z′ A′ si incontrino nel centro O sotto un angolo retto, la latitudine geografica di A sarà il complemento di quella di A′; poichè prolungando O A verso Z (Zenit) ed O A′ verso Z′, tirando poi le tangenti A H ed A′ H′ e finalmente A N ∥ P P′ ∥ H′ Z′, sarà la verticale A′ Z′ ∥ H A orizzontale; $\measuredangle$ H A N misura l'altezza polare del luogo A, $\measuredangle$ A′ H′ Z′ quella di A′; ma evidentemente $\measuredangle$ H A N = 90° — N A Z = 90° — Z′ H′ A′; dunque vediamo verificata la condizione richiesta, affinchè l'orologio verticale in A′ sia identico all'orizzontale in A.

(1) Piano verticale non declinante chiamasi pure il Primo verticale (Cfr. n. 35).

Digitized by Google

Di più, se noi trasportiamo il nostro orologio orizzontale da A sullo stesso meridiano ad un altro luogo qualunque, badando soltanto di mantenere l'asse dell'orologio e la Meridiana sempre paralleli alla loro posizione primitiva, l'orologio indicherebbe sempre il tempo giusto; arrivato in A', il piano, orizzontale in A, sarebbe diventato Primo Verticale in A'.

Da queste considerazioni si vede che non è tanto difficile, di costruire anche un orologio solare sopra un piano comunque inclinato verso l'orizzonte; basta trovare la latitudine geografica del luogo, che abbia l'orizzonte parallelo al nostro piano.

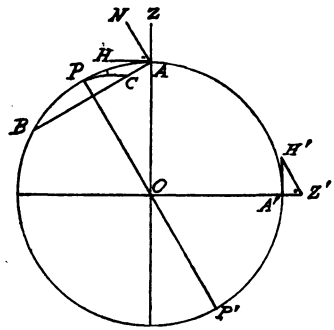


Fig. 56.

102. — Orologi solari trasportati sullo stesso parallelo A B, rimanendo sempre alla stessa latitudine geografica, non cambiano la loro costruzione, soltanto il piano del Meridiano sarà diverso. Per esempio in un luogo C, distante 15° in longitudine dal punto A, il piano del nuovo meridiano O P C farà con quello di A un angolo di 15°. Se l'orologio dopo il trasporto fosse rimasto parallelo alla sua posizione in A, indicherebbe il tempo di A e non di C; la meridiana di C si troverebbe sulla linea oraria vicina delle XI o dell'I (secondo che il trasporto sia fatto verso Est ovvero verso Ovest).

B) *Piano declinante dal Primo Verticale.*

103. — Se il muro (la superficie) verticale declina dal Primo Verticale, esso può essere rivolto verso Est ovvero verso Ovest. Nel primo caso sarà adattato ad indicare piuttosto le ore mattutine, nel secondo le ore pomeridiane. La nostra figura (Fig. 57) considera l'ultimo caso.

Prima di tutto dovremo accertare l'angolo di declinazione. Il punto G indichi la posizione del Gnomone, da G si cala una perpendicolare GP sul muro, la quale indica il Piede P del Gnomone; GC indichi la posizione dell'Asse (del mondo); allora C sarà il Centro dell'Orologio. Da C per mezzo del filo a piombo si cala la verticale CM, che rappre-

Digitized by Google

senterà la Linea Meridiana. Per P si tiri la linea orizzontale PH. Se congiungiamo ancora H con G, avremo una Piramide colla base CHP, col vertice in G, le faccie della quale sono tutte triangoli rettangoli.

Per maggior brevità mettiamo:

l'Asse $GC = a$	l'Orizzontale $PH = h$
la Sustilare $CP = s$	il Perpendicolo $GP = p$
la Meridiana $CH = m$	la Normale $GH = n$

Per rendere poi più visibili i varii triangoli, li ribattiamo tutti sullo stesso piano di costruzione, serbando la loro base, cosicchè

$\triangle CHG = \triangle CHX$;
$\triangle HPG = \triangle HPY$;
$\triangle CPG = \triangle CPZ$.

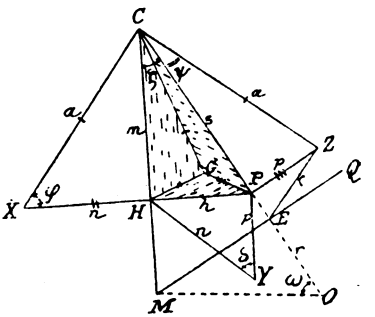


Fig. 57.

Siccome CHG sta nel piano del meridiano, l'angolo che esso fa col muro ($\measuredangle PHG = \measuredangle PHY$) indica la declinazione del muro dal piano del meridiano; il suo complemento $\measuredangle HYP = \delta$ la declinazione dal Primo Verticale. L'angolo $CGH = \measuredangle CXH = \varphi$ rappresenta l'altezza polare, ossia la latitudine geografica.

Dati questi angoli φ e δ, si trovano facilmente le espressioni trigonometriche per gli angoli

$$\measuredangle PCZ = \psi\,; \quad \measuredangle HCP = \zeta$$

$$\operatorname{sen}\psi = \frac{p}{a} = \frac{n \cdot \cos\delta}{a} = \cos\delta \cdot \cos\varphi \qquad (1)$$

$$\operatorname{tg}\zeta = \frac{h}{m} = \frac{n \cdot \operatorname{sen}\delta}{n \cdot \operatorname{tang}\varphi} = \operatorname{sen}\delta \cdot \operatorname{cotg}\varphi \qquad (2)$$

104. — Dalle cose dette poc'anzi (num. 101) si vede, che anche qui il problema si riduce a quello d'un orologio orizzontale, che abbia l'Orizzonte parallelo al nostro muro, dove quindi la nostra Sustilare s rappresenta la Meridiana, e il nostro angolo ψ l'altezza polare.

Digitized by Google

Posto ciò, per costruire l'orologio si alza sulla CZ in Z la perpendicolare ZE, che incontri la Sustilare prolungata nel punto E; EQ ⊥ CE, sarà l'Equinoziale; prendendo sopra CE un segmento EO = EZ = r, avremo in O il centro del circolo divisore, il quale ci fa trovare come disopra sulla Equinoziale le linee orarie, con questa sola differenza: se noi cominciassimo la nostra partizione dalla Sustilare (meridiana del luogo che ha l'orizzonte parallelo al nostro muro) in E, le linee orarie indicherebbero il tempo di quel luogo, volendo invece conoscere i tempo locale, dovremo cominciare la divisione dal meridiano locale CH, ossia dal punto M, dove la Meridiana CH e l'Equinoziale QE s'incontrano.

L'angolo ζ è quindi una funzione della differenza di Longitudine dei due luoghi in quistione: cioè se osserviamo l'intervallo orario, che passa tra le linee CP e CM, avremo la differenza di Longitudine dei due luoghi.

Anzi quest'angolo è direttamente rappresentato dall'angolo MOE = ω. Abbiamo poi dal triangolo rettangolo MEO che $\operatorname{tg}\omega = \frac{ME}{OE}$; $ME = CE \operatorname{tang}\zeta$; $OE = r = EZ$; $\operatorname{tg}\omega = \frac{CE}{EZ} \cdot \operatorname{tang}\zeta = \frac{\operatorname{tg}\zeta}{\operatorname{sen}\psi}$.

Sostituendo i valori (1) e (2) num. 103 avremo

$$\operatorname{tang}\omega = \frac{\operatorname{sen}\delta \cdot \operatorname{cotg}\varphi}{\cos\delta \cdot \cos\varphi} = \frac{\operatorname{tg}\delta}{\operatorname{sen}\varphi}. \qquad (3)$$

105. — Ecco ora la **Costruzione** semplicissima:

Fissato (Fig. 58) il Centro C dell'orologio ed il piede P del Gnomone, tracciata la Meridiana CH, si costruisce coll'angolo ψ [Cfr. (1) n. 103] il triangolo rettangolo CPZ, si fa ZE ⊥ CZ; EQ ⊥ CE. Si prolungano le linee QE e CH fino al punto (d'incontro) M. Si fa EO = EZ. Col raggio OE si costruisce intorno ad O il circolo divisore, al quale l'Equinoziale MQ sarà tangente in E. Congiunto O con M, cominciando dal 12, dividiamo nel modo solito la circonferenza del circolo di 15° in 15°, determinando così verso sinistra i punti 11, 10... verso destra 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8... Prolungando i raggi, condotti ai punti così trovati, troviamo

Digitized by Google

sull'Equinoziale i punti rispettivi XII, XI... poi I, II, III, IV, V, VI, VII..., per i quali dovranno passare le nostre linee orarie provenienti dal centro C. (Per non imbrogliare troppo la figura, ne abbiamo condotti soltanto C XI, C I... C VII, C VIII).

106. — Coi dati α, φ, δ, ζ, ψ si può fare tutta la costruzione sopra un cartone, e trasportarla poi sul muro, trascurando tutte le linee ausiliari.

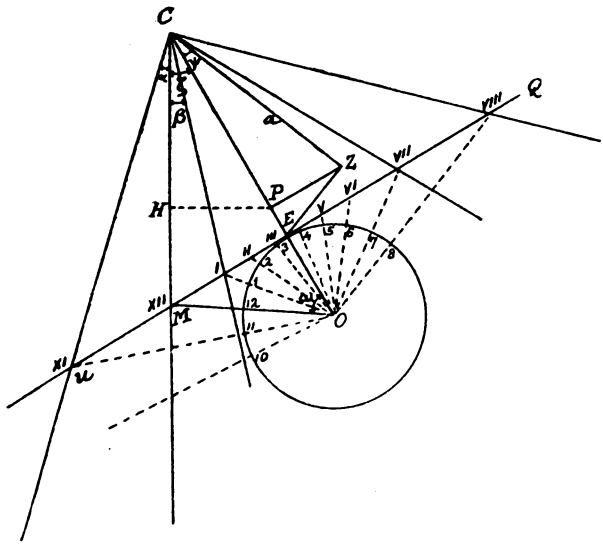


Fig. 58.

Di più, se notiamo le curve descritte dalla Punta dell'Ombra nei giorni solstiziali, cioè quando il Sole percorre il Tropico del Cancro (♋) o del Capricorno (♑) basta ritenere le linee orarie tra queste curve, fuori delle quali l'ombra del Gnomone non può scorrere. L' orologio così compiuto avrà una forma simile a quella rappresentata nella Fig. 59. Come stilo basterebbe il perpendicolo PZ. L'ombra del Gnomone Z segnerà l'ora in Z'; lo stesso servizio presterebbe l'asse CZ come stilo parallelo all'asse del mondo. L'ombra sua si metterà con tutta la sua direzione sulla linea oraria. Per dare maggiore consistenza al Gnomone, si suole anche ritenere tutto il triangolo materiale CZP, come lo indica la figura. — Molte

Digitized by Google

volte al posto di Z si colloca una lastra metallica forata, il forellino della quale funziona da Gnomone.

107. — Avendo già stabilito una formola trigonometrica [Cfr. (3) n. 104] per l'angolo ω si possono similmente determinare tutti gli angoli, che le linee orarie fanno nel Centro C colla Meridiana (Fig. 58). Prendiamo per esempio l' angolo $UCM = \alpha$, che fa la linea oraria delle XI colla Meridiana.

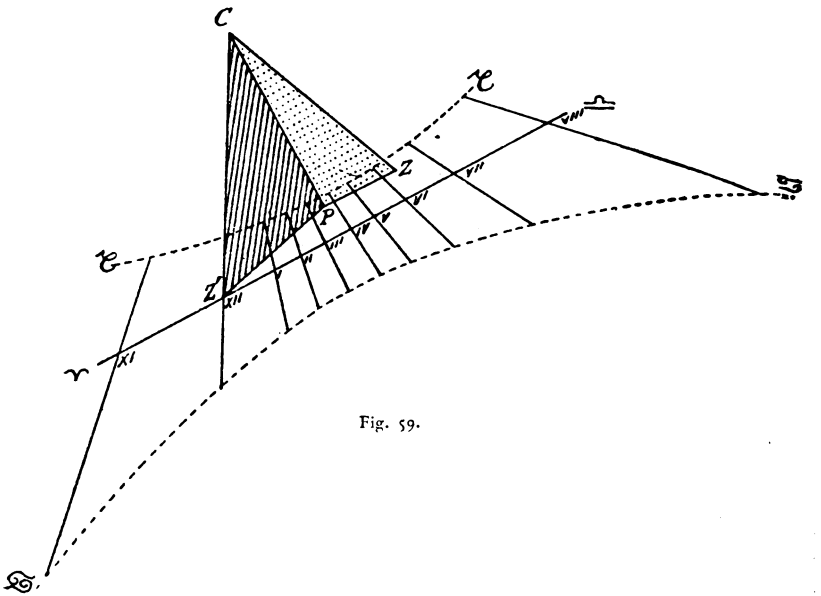


Fig. 59.

Dal triangolo U C E, rettangolo in E, risulta

$$\operatorname{tang}(\zeta + \alpha) = \frac{UE}{CE} = r \cdot \operatorname{tang}(\omega + 15°) : \frac{r}{\operatorname{sen}\psi};$$

dunque $$\operatorname{tang}(\zeta + \alpha) = \operatorname{tang}(\omega + 15°) \cdot \operatorname{sen}\psi \qquad (4)$$

Per una linea, per esempio C I, situata dall' altra parte della Meridiana, chiamando β l'angolo M C I, che essa fa con C M, avremo:

Digitized by Google

$$\text{tang}\,(\zeta - \beta) = \frac{E\,I}{C\,E} = r \cdot \text{tang}\,(\omega - 15°) : \frac{r}{\text{sen}\,\psi}\,;$$

dunque $$\text{tang}\,(\zeta - \beta) = \text{tang}\,(\omega - 15°) \cdot \text{sen}\,\psi \qquad (5)$$

Ora ζ e ψ si conoscono dalle formole (2) e (1) num. 103; dunque sarà facile la determinazione di α, β, ecc.

COROLLARIO I. — OROLOGI SOLARI SUL PIANO DEL MERIDIANO.

108. — Un caso particolare del capitolo precedente, che merita una breve discussione, s'incontra quando la declinazione del Piano Verticale dal Primo arriva a 90°; allora la superficie del medesimo si troverà nel piano del Meridiano stesso e può essere rivolta verso Est o verso Ovest.

Consideriamo il secondo caso. In questo l'asse GG′ (Fig. 60) dell'orologio (parallelo all'asse del mondo) sarà parallelo al muro stesso; quindi non potrà incontrarlo; non vi sarà un Centro dell'orologio, se non a distanza infinita, e le linee orarie saranno tutte parallele al medesimo asse. La Sustilare rappresenterà la Linea delle VI (della sera). Per trovare la distanza delle altre dalla medesima, si ribatte il Perpendicolo PG sulla medesima in PO; intorno ad O col raggio PO si costruisce il circolo divisore, e così si trovano facilmente i punti rispettivi, come vedesi nella figura.

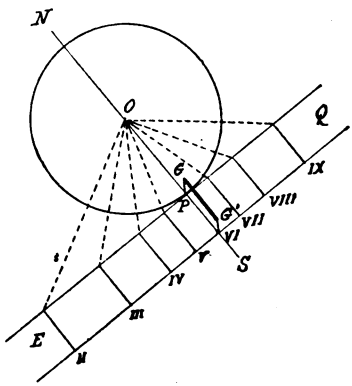


Fig. 60.

Il luogo, che ha l'Orizzonte parallelo ad un tal muro, si troverebbe sull'Equatore terrestre, con una differenza di longitudine geografica di 90°; e difatti tale sarebbe la costruzione d'un orologio orizzontale all'Equatore, colla differenza che la nostra Sustilare sarebbe ivi Meridiana.

Al polo, in un orologio orizzontale, un gnomone perpendicolare sarebbe anche asse, il suo piede allo stesso tempo centro

Digitized by Google

dell'orologio; le divisioni delle linee orarie sarebbero quelle del circolo divisore di 15° in 15°. Lo stesso sarebbe il caso all'Equatore in un orologio sul Primo Verticale.

Un compendio o riassunto delle varie costruzioni di Orologi solari finora spiegati abbiamo nella figura 61, nella quale vediamo sulle faccie di un cubo descritti altrettanti orologi, tutti di diversa costruzione. Tali e simili apparecchi formano talvolta bell'ornamento di una villa principesca, di osservatori astronomici ed anche di giardini privati e pubblici.

Corollario II. — Trasformazione del tempo solare apparente in tempo medio.

109. — Gli orologi solari, descritti fin qui, indicano direttamente il tempo solare apparente, detto anche «tempo vero» cioè l'angolo orario del Sole vero sulla Sfera celeste. Quando gli orologi a ruota erano ancora rari, e gli orologi solari indispensabili nella vita pubblica, si seguiva semplicemente questo tempo apparente. Gli stessi astronomi fino al principio del secolo XIX usavano questo tempo. Ora tutto è cambiato, e chi vuol servirsi d'un orologio solare, anche per mero controllo del suo orologio ordinario (a ruote), deve trasformare il tempo indicato dal Sole in tempo medio.

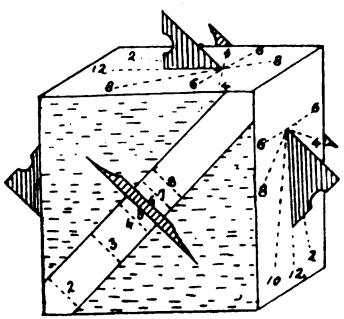


Fig. 61.

La differenza x tra tempo medio t_m e tempo vero t_v chiamasi **Equazione del tempo**, essendo

$$x = t_m - t_v \qquad \text{ossia} \qquad t_m = t_v + x$$

x avrà un valore positivo se $t_m > t_v$; negativo invece se $t_v > t_m$.

Per cambiare dunque il tempo solare vero in tempo medio, basta aggiungere il valore di x col suo segno a t_v .

Digitized by Google

110. — La tavola seguente dà il valore di x per tutti i giorni dell'anno. Benchè sia fatta per l'anno 1900 e per il Meridiano di Greenwich, si può nondimeno senza errore sensibile (trattandosi di determinazione gnomonica del tempo che non arriva mai agli ultimi secondi), applicarsi ai Meridiani d'Italia e ciò nei vari anni.

Ecco **due esempi**: il giorno 6 marzo l'orologio solare segni mezzogiorno $= 12^h\, t_v$; la tavola ci dà per questo giorno $x = 11^m\, 30^s$; il tempo medio corrispondente sarà dunque

$$t_m = 12^h + 11^m\, 30^s$$

Il giorno 3 novembre l'orologio solare segni 1^h dopo mezzogiorno $1^h\, t_v$; dalla tavola caviamo $x = -16^m\, 20^s$ dunque il tempo medio corrispondente sarà

$$t_m = 1^h - 16^m\, 20^s = 12^h\, 43^m\, 40^s$$

Per la trasformazione inversa si noti, che l'equazione del tempo diventa $t_v = t_m - x$ dove x col segno positivo si sottrae semplicemente; ma se x nella tavola ha già il segno negativo esso dovrà essere aggiunto. Così invertendo i due esempi

6 marzo a mezzogiorno $12^h\, t_m$ avremo

$$t_v = 12^h - 11^m\, 30^s = 11^h\, 48^m\, 30^s$$

3 novembre a mezzogiorno $12^h\, t_m$ avremo

$$t_v = 12^h + 16^m\, 20^s = 12^h\, 16^m\, 20^s \quad (1)$$

(1) Abbiamo trascurato in questi esempi la variazione della equazione del tempo da un'ora all'altra, che può realmente essere trascurata nei problemi presenti. Nei casi che esigono maggior precisione, si deve ricorrere alle grandi effemeridi, come sono, per esempio, il Nautical Almanac di Londra, il Berliner Jahrbuch, la Connaissance des Temps di Parigi, l'Almanaque nautico di S. Fernando (Spagna), The American Ephemeris di Washington, ecc. che si pubblicano annualmente nelle rispettive città. Le effemeridi di Milano (calcolate pel meridiano di Milano, 1775-1874) hanno sospeso la pubblicazione.

Digitized by Google

III. — Tavola dell' equazione del Tempo.

Giorno	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno
1	$3^m\ 40^s$	$13^m\ 47^s$	$12^m\ 35^s$	$4^m\ 2^s$	$-2^m\ 57^s$	$-2^m\ 27^s$
2	4 9	13 55	12 23	3 44	—3 4	—2 18
3	4 37	14 2	12 10	3 26	—3 11	—2 8
4	5 4	14 8	11 57	3 8	—3 17	—1 59
5	5 31	14 13	11 44	2 51	—3 23	—1 48
6	5 58	14 17	11 30	2 33	—3 28	—1 38
7	6 24	14 21	11 16	2 16	—3 33	—1 27
8	6 50	14 24	11 1	1 59	—3 37	—1 16
9	7 15	14 26	10 46	1 42	—3 40	—1 5
10	7 40	14 27	10 31	1 26	—3 43	—0 53
11	8 4	14 27	10 15	1 9	—3 46	—0 41
12	8 27	14 27	9 59	0 53	—3 47	—0 29
13	8 50	14 26	9 43	0 37	—3 49	—0 17
14	9 12	14 24	9 26	0 22	—3 49	—0 5
15	9 34	14 21	9 9	0 7	—3 49	0 8
16	9 55	14 18	8 52	—0 8	—3 49	0 21
17	10 15	14 14	8 34	—0 23	—3 48	0 33
18	10 34	14 9	8 17	—0 37	—3 46	0 46
19	10 53	14 3	7 59	—0 50	—3 44	0 59
20	11 11	13 57	7 41	—1 3	—3 41	1 12
21	11 28	13 51	7 23	—1 16	—3 38	1 25
22	11 45	13 43	7 5	—1 28	—3 34	1 38
23	12 1	13 35	6 46	—1 40	—3 30	1 51
24	12 16	13 26	6 28	—1 52	—3 25	2 4
25	12 30	13 17	6 10	—2 3	—3 19	2 17
26	12 43	13 7	5 51	—2 13	—3 13	2 30
27	12 56	12 57	5 33	—2 23	—3 7	2 42
28	13 8	12 46	5 15	—2 32	—3 0	2 55
29	13 19	———	4 56	—2 41	—2 52	3 7
30	13 29	———	4 38	—2 49	—2 44	3 19
31	13 38	———	4 20	———	—2 36	———

Digitized by Google

Tavola dell' equazione del Tempo.

Giorno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
1	$3^m\ 31^s$	$6^m\ 8^s$	$-0^m\ 0^s$	$-10^m\ 14^s$	$-16^m\ 19^s$	$-10^m\ 55^s$
2	3 43	6 4	−0 19	−10 33	−16 20	−10 32
3	3 54	6 0	−0 38	−10 52	−16 20	−10 9
4	4 5	5 55	−0 58	−11 11	−16 20	− 9 45
5	4 16	5 50	−1 18	−11 29	−16 19	− 9 21
6	4 26	5 44	−1 38	−11 47	−16 17	− 8 56
7	4 36	5 37	−1 58	−12 4	−16 14	− 8 30
8	4 45	5 29	−2 18	−12 21	−16 10	− 8 4
9	4 55	5 21	−2 39	−12 38	−16 6	− 7 37
10	5 3	5 13	−3 0	−12 54	−16 0	− 7 10
11	5 12	5 4	−3 20	−13 10	−15 54	− 6 43
12	5 19	4 54	−3 41	−13 25	−15 47	− 6 15
13	5 27	4 44	−4 2	−13 39	−15 39	− 5 47
14	5 34	4 33	−4 24	−13 54	−15 30	− 5 18
15	5 40	4 22	−4 45	−14 7	−15 21	− 4 49
16	5 46	4 10	−5 6	−14 20	−15 10	− 4 20
17	5 52	3 58	−5 27	−14 33	−14 59	− 3 51
18	5 57	3 45	−5 48	−14 44	−14 46	− 3 21
19	6 1	3 32	−6 10	−14 56	−14 33	− 2 52
20	6 5	3 18	−6 31	−15 6	−14 19	− 2 22
21	6 8	3 4	−6 52	−15 16	−14 5	− 1 52
22	6 11	2 49	−7 13	−15 25	−13 49	− 1 22
23	6 14	2 34	−7 33	−15 34	−13 33	− 0 51
24	6 15	2 18	−7 54	−15 42	−13 15	− 0 21
25	6 17	2 2	−8 15	−15 49	−12 57	0 9
26	6 17	1 46	−8 35	−15 55	−12 39	0 39
27	6 17	1 29	−8 55	−16 1	−12 19	1 8
28	6 17	1 12	−9 15	−16 6	−11 59	1 38
29	6 15	0 54	−9 35	−16 10	−11 39	2 7
30	6 14	0 37	−9 55	−16 14	−11 17	2 37
31	6 11	0 18	———	−16 17	———	3 5

Digitized by Google

COROLLARIO III. — MERIDIANA A TEMPO MEDIO.

112. — La tavola precedente mostra che il mezzogiorno medio ora precede (anticipa) il mezzogiorno vero, ora lo segue (posticipa): il primo è il caso quando l'equazione del tempo [x del num. 109] ha un valore positivo (additivo), l'altro quando ha un valore negativo (sottrattivo).

Da ciò segue, che il posto, dove trovasi il Punto dell'Ombra a mezzodì medio, ora cade tra le linee orarie XI e XII, ora tra XII e I. Notando questi punti sopra un orologio solare da un giorno all'altro, ovvero coll'intervallo di più giorni, ed unendo poi i punti notati per mezzo di una linea continua, otteniamo una curva a foggia di 8 (Fig. 62), che serpeggia intorno alla Meridiana ordinaria NS. Questa curva chiamasi **Meridiana a tempo medio**, perchè basta poi osservare il passaggio dell'ombra alla medesima, per avere immediatamente il Mezzodì medio. I nomi dei mesi indicano, quale parte della curva debba scegliersi per l'osservazione, quella di destra, ovvero quella di sinistra.

113. — La Meridiana a tempo medio si può costruire empiricamente nel modo già detto, o anche teoricamente. Come illustrazione più semplice del secondo metodo scegliamo un orologio solare orizzontale sull'Equatore terrestre (che collocato poi debitamente in una latitudine qualunque, diventa un vero orologio universale). La figura 62 rappresenta la Meridiana a tempo medio (**Meridiana media**) di codesto orologio, NS la Meridiana vera, P nel mezzo tra N ed S il piede del Gnomone G, che trovasi alto circa 15 cm. perpendicolarmente sopra P. Se N ed S notano i due punti dove l'ombra tocca la Meridiana vera nei giorni dei solstizi, il raggio solare formerà in questi giorni collo stilo GP gli angoli $\measuredangle SGP = \measuredangle NGP = \measuredangle KGA = \measuredangle CGA$, i quali rappresentano la Declinazione dei detti punti solstiziali, ossia l'inclinazione dell'Eclittica.

Per trovare gli altri punti corrispondenti ai varii segni dello Zodiaco sulla Meridiana NS, descriviamo accanto ad essa una Meridiana parallela N'S', nel punto di mezzo P' alziamo nel piano del disegno un perpendicolo P'G, uguale all'altezza del Gnomone. — Noi per mancanza di spazio ab-

Digitized by Google

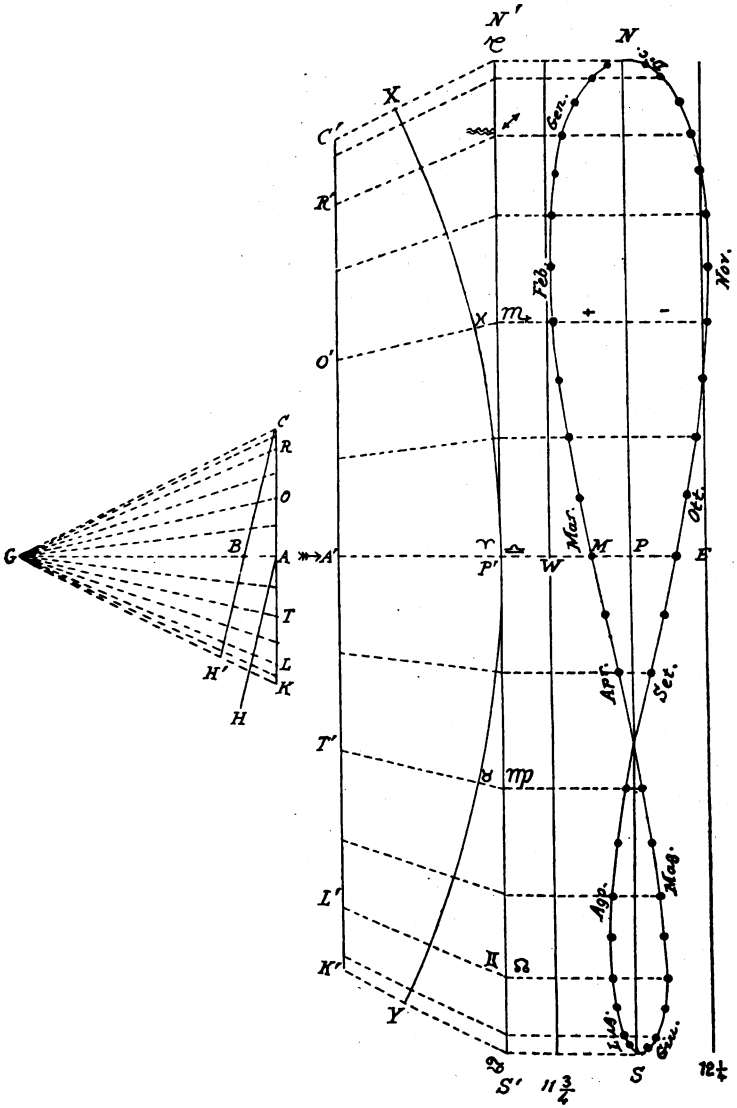


Fig. 62.

Digitized by Google

biamo avvicinato il punto G che dovrebbe distare 15 cm. da P, cosicchè il triangolo CGK rappresenta il vertice del triangolo troncato N'C'K'S', cioè G sta realmente nel centro del circolo XY; cosicchè C'N' deve considerarsi come il prolungamento di GC; K'S' come quello di GK. Posto ciò facciamo $\measuredangle AGR = \measuredangle AGL$ uguale alla Declinazione del Sole nei segni ♒, ♐ e ♊, ♌; $\measuredangle AGO = \measuredangle AGT$ uguale alla Declinazione nei segni ♈, ♏ e ♉, ♍ e prolungando i raggi GR per R', GL per L', GO per O', GT per T', GA per A' fin all'incontro colla linea N'S', avremo sopra di essa i punti dell'ombra nei tempi rispettivi, come i segni posti sulla linea N'S' lo dimostrano. Lineette condotte da questi punti paralleli a S'S e N'N, notano senz'altro i punti corrispondenti sulla Meridiana NS; inoltre l'ombra si muove in quei giorni sensibilmente sopra le dette linee parallele.(1)

114. — Per determinare sopra queste il punto d'intersezione colla Meridiana media, descriviamo prima (secondo i metodi già conosciuti) le linee (orarie) corrispondenti alle ore $11\frac{3}{4}$ e $12\frac{1}{4}$, le quali nel caso nostro saranno paralleli alla Meridiana NS. Quindi PW rappresenta un intervallo di 15 minuti di tempo, ossia di 900 secondi; ora sapendo che al tempo dell'equinozio, quando il punto dell'ombra solare tocca la Meridiana NS nel punto P, l'equazione del tempo è uguale a $7^m\ 23^s$ ossia 443^s, basta prendere sulla PW una porzione PM corrispondente (alla tangente d'un arco corrispondente), ed avremo così il punto M cercato. In simile maniera si determinano altrettanti punti quanti si vogliono, ed unendoli per mezzo di una curva continua, avremo la Meridiana a tempo medio.

Nel caso nostro, d'un Orologio orizzontale posto sull'Equatore terrestre, la linea GA che trovasi nel piano dell'Equatore celeste forma un angolo retto $GAK = GAC$ coll'orizzonte; quindi la distanza dei segni sulla Meridiana NS riesce simmetrica tra P ed N e tra P e S. Questo non sarebbe il caso in una latitudine diversa, dove GA fa un angolo $GAH = \measuredangle GBH'$ (collatitudine geografica) coll'orizzonte; la linea CH' però dà

(1) Daremo più sotto (n. 243) un metodo trigonometrico rigoroso, per determinare il punto d'ombra in un giorno qualunque sopra una linea oraria qualunque.

Digitized by Google

anche per questo caso le distanze rispettive. Di più, allora le linee orarie corrispondenti alle $11\frac{3}{4}$ e $12\frac{1}{4}$, non sarebbero più parallele alla Meridiana vera, e le lineette trasversali, sulle quali si muove l'ombra, non potranno considerarsi come linee rette (essendo rami di iperbole).[1] Più complicato diventa il problema nel caso di un orologio verticale sopra un piano declinante. Per la soluzione di questi problemi rimettiamo ai trattati speciali di Gnomonica.

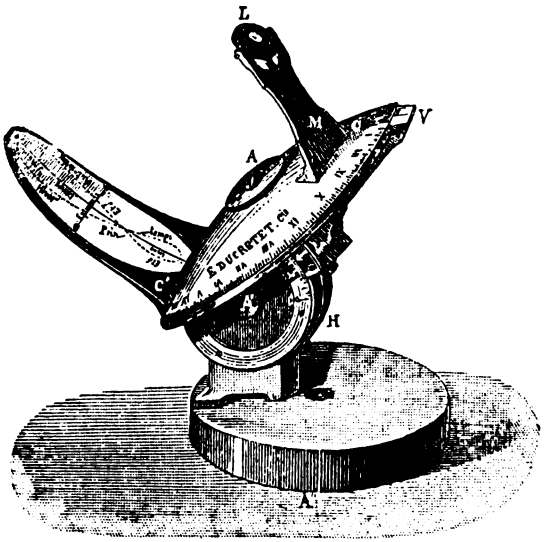


Fig. 63.

115. — Come la Meridiana vera ha la sua curva per indicare il tempo medio, così sopra qualunque altra linea oraria potrebbero costruirsi simili curve a tempo medio.[2] L'apparecchio rappresentato nella figura 63 (del sig. Fléchet), permette per mezzo di un ingegnoso meccanismo il **trasporto della**

(1) Almeno nelle nostre latitudini (eccettuata sempre l'Equinoziale). Il Gnomone forma il vertice di due coni retti uguali ed opposti, la base dell'uno è il parallelo del Sole, l'altro viene tagliato dal piano di proiezione, ed è questa sezione che forma la curva (n. 51).

(2) Cf. E. Schenk, «Orologio Solare Universale a Tempo medio», Milano, Hoepli, 1891.

Digitized by Google

Meridiana media a tutte le altre linee orarie. Esso rappresenta un orologio equatoriale trasportabile. Il circolo graduato equatoriale è girevole intorno all'asse del mondo in A, e porta seco il Gnomone L e la tavola opposta C′ colla curva a tempo medio. Una piccola lente in L concentra sopra questa il « punto dell'ombra », un indice V segna l'ora media, purchè il punto d'ombra sia collocato sulla parte rispettiva della curva. Un asse orizzontale A′ permette di dare al piano dell'orologio l'inclinazione dovuta alla Latitudine geografica del luogo.

Una disposizione analoga, ancora più semplice, è quella del sig. Oliver, rappresentata (disopra) nella figura 50.

CAPITOLO III.

DETERMINAZIONE DEL TEMPO PER MEZZO DI OROLOGI MECCANICI.

Prenozioni storiche.

116. — Gli orologi solari non possono servire, quando il Sole resta nascosto dietro le nuvole, molto meno, quando si trova sotto l'orizzonte. Era dunque naturale, che da tempi remotissimi si cercassero altri Misuratori del tempo (Cronometri).

Lo scolo uniforme di un getto d'acqua da un orifizio, sembrava meglio di tanti altri metodi [1] somministrare una soluzione sufficiente dell'arduo problema. L'acqua così raccolta, poteva facilmente misurarsi, e la suddivisione della quantità raccolta suddivideva il tempo. Era anche facile di mantenere costante il livello dell'acqua sovrastante, e quindi la pressione della medesima, e con questa il getto d'acqua che usciva dall'orifizio.

Abbiamo così gli elementi essenziali della **Clessidra** [2] (orologio ad acqua), l'invenzione (o meglio il perfezionamento)

(1) Il successivo consumarsi di una candela accesa, ecc.

(2) Κλεψύδρα da κλέπτω (rubo) e ὕδωρ (acqua). Il nome sembra indicare che la misura del tempo originalmente fu presa nel vaso, dal quale l'acqua pian piano scompariva.

Digitized by Google

della quale viene ascritta a Ktesibio di Alessandria (sec. III a. C.). Simili strumenti furono adoperati nei tribunali di Roma, come attesta Plinio, [1] per determinare il tempo concesso ai singoli oratori. Dove bastava una precisione minore, invece dell'acqua si adoperava pure della polvere fina, che da un vaso conico superiore scendeva in un altro inferiore della stessa forma. Terminata la quantità contenuta nel primo, si capovolgeva semplicemente l'apparato (noto ancora ai nostri giorni), ed il gioco poteva cominciare da capo.

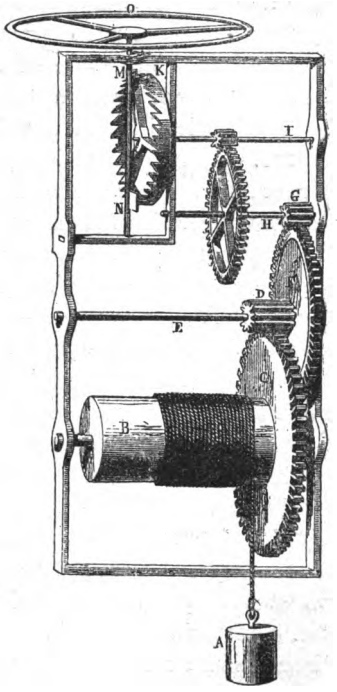


Fig. 64.

117. — I primi tentativi, di misurare il tempo per mezzo di **pesi scendenti**, sembrano incontrarsi già fin dal secolo IX (d. C.). Attaccati ad una corda, avvolta intorno un asse cilindrico i pesi per la loro gravità mettevano in moto il cilindro stesso; affinchè questo non girasse con troppa velocità, il movimento del cilindro era impedito da varii ruoteggi, volani e simili impedimenti.

La figura 64 dà un'idea di questi orologi primitivi. La ruota dentata K, i denti della quale erano formati a modo di sega, urtando contro le palette M ed N, attaccate all'asse del **Bilanciere** orizzontale O, forzavano questo a ruotare, o meglio ad oscillare ora in una direzione, ora nella direzione opposta. Queste oscillazioni si compivano in tempuscoli sensibilmente uguali, somministrando così un mezzo, di determinare le ore ed anche suddivisioni delle ore. Di tali orologi, forniti pure di suonerie, s'incontrano già un buon numero nel secolo XII. [2]

(1) Ep. II, 11.

(2) Alcuni nominano Pacifico († 849) arcidiacono di Verona come primo inventore. Altri il celebre monaco Gerberto, il quale fu poi Papa

Digitized by Google

Nuovi perfezionamenti furono aggiunti nei secoli seguenti. Mentre gli uni cercavano invano di dare alla macchina un isocronismo [1] maggiore ed un andamento meno irregolare, altri aggiunsero una moltiplicità di cose diverse, da indicarsi dallo stesso orologio, per esempio, i giorni della settimana e del mese, le lunazioni, le eclissi, gli anni bisestili, ecc. [2]

Sostituendo al peso principale una **Molla elastica**, esercitante la dovuta pressione sul ruoteggio, fu possibile di costruire **orologi trasportabili** e tascabili. Tali misuratori del tempo furono fabbricati la prima volta in Norimberga nel 1510. [3]

118. — Importantissima per il perfezionamento dell'orologio a ruota fu l'applicazione del **Pendolo.** L'isocronismo del pendolo (semplice filo a piombo) fu già noto nel medio evo. L'Astronomo arabo Ibn Junis se ne servì per la suddivisione dei piccoli intervalli di tempo nelle sue osservazioni astronomiche. [4] Anzi per forzare il suo pendolo libero, di oscillare più regolarmente, sospese una palla pesante non ad un filo solo, ma a due divergenti a foggia d'un $\overset{\circ}{\mathrm{V}}$. L'apparato cronometrico così perfezionato avea ancora due gravi inconvenienti: le oscillazioni doveano contarsi ad occhio (da un secondo osservatore), poi si fermava troppo presto.

Il primo, che aggiunse il pendolo come regolatore agli orologi da ruota, fu lo svizzero Jost Bürgi verso il 1600. Qualche esemplare de' suoi orologi si trova ancora. [5] Lo stesso fece (nel 1612 circa) il medico italiano Santorio (lat. Sanctorius) di Padova, dopochè Galilei avea riscoperto l'isocronismo del Pendolo. Galileo stesso si occupò molto dell'importante problema [6] negli ultimi anni della sua vita. Il

sotto il nome di Silvestro II (999-1003), altri l'abate Guglielmo di Hirschau († 1090). Cf. De Maffei (Verona illustrata, 1731, part. II, art. Pacificus).

(1) Dal greco ἴσος (uguale) e χρόνος (tempo).

(2) Nella Cattedrale di Strasburgo si vede ancora un tal orologio costruito nel 1572-74.

(3) Per la loro forma grossolana questi primi orologi tascabili furono chiamati Uova di Norimberga (Nürnberger Eier).

(4) E. Bernard nelle « Philosophical Transactions », 1684, p. 723.

(5) Così nel Tesoro di Vienna (Wolf. « Geschichte der Astr. », 370).

(6) Cf. Opere complete di Galileo Galilei, vol. XIV, Firenze, 1855, p. 339.

Digitized by Google

suo figlio Vincenzo eseguì, secondo i disegni lasciati dal padre, un orologio a pendolo, ma il grande difetto di tutte queste invenzioni era questo, che il pendolo a cagione dell' attrito con la ruota di scappamento, perdeva tosto la sua forza di oscillare, e conseguentemente l'orologio si fermava.

119. — Fu il celebre Ugenio,[1] che seppe superare quest'ultima difficoltà rimasta. In una pubblicazione del 1658 egli diede la prima descrizione della sua importante invenzione. Quindici anni dopo uscì il suo più perfezionato e classico trattato **Horologium oscillatorium,** che segna una vera epoca nuova nell'arte cronometrica. Riproduciamo qui la figura data dallo stesso Huygens, nella quale si ammira il prototipo di tutti gli orologi a pendolo (Fig. 65).

Tutto il roteggio si trova rinchiuso tra due lamine di metallo A A, B B, fissata l'una distante dall'altra per mezzo di alcune colonnette (A B). Nei fori praticati nelle lamine, riposano gli assi delle ruote. La più grande (« ruota centrale ») porta sulla sua periferia 80 denti, sul suo asse si trova pure fissata una specie di carrucola D, dotata di spine per ritenere la corda dei pesi. Questi mettono in moto la ruota C, la quale agisce sopra il rocchetto E munito di 8 denti, che poi (per mezzo dell'asse comune) comunica il suo movimento alla ruota dentata F; i 48 denti di quest'ultima (« ruota media ») stanno in comunicazione col sistema seguente del rocchetto G e della « ruota dei secondi » dentata H (che hanno lo stesso numero rispettivo di denti come il sistema precedente). L' ultima ruota H, dentata a foggia di corona, mette in moto le ruote orizzontali I e K, delle quali la prima è fornita di 24, l'altra **« ruota di scappamento »** di 15 denti.

I denti dell'ultima ruota sono tagliati a scarpa (come i denti d'una sega, dice Ugenio), e qui sta tutto l'artifizio dell'inventore. Sopra questa ruota giace orizzontalmente un asse L M impernato nei sostegni N P, munito di pinnule in L, spinte alternativamente dai denti sottostanti.

Lo scappamento di questi denti viene regolato dal pendolo V X sospeso per mezzo di una lamina sottile e flessibile.

(1) Christiano Ugenio (Huygens, lat. C. Hugenius) dottissimo matematico, fisico ed astronomo, nato all'Aja nel 1629, morto nel 1695.

Digitized by Google

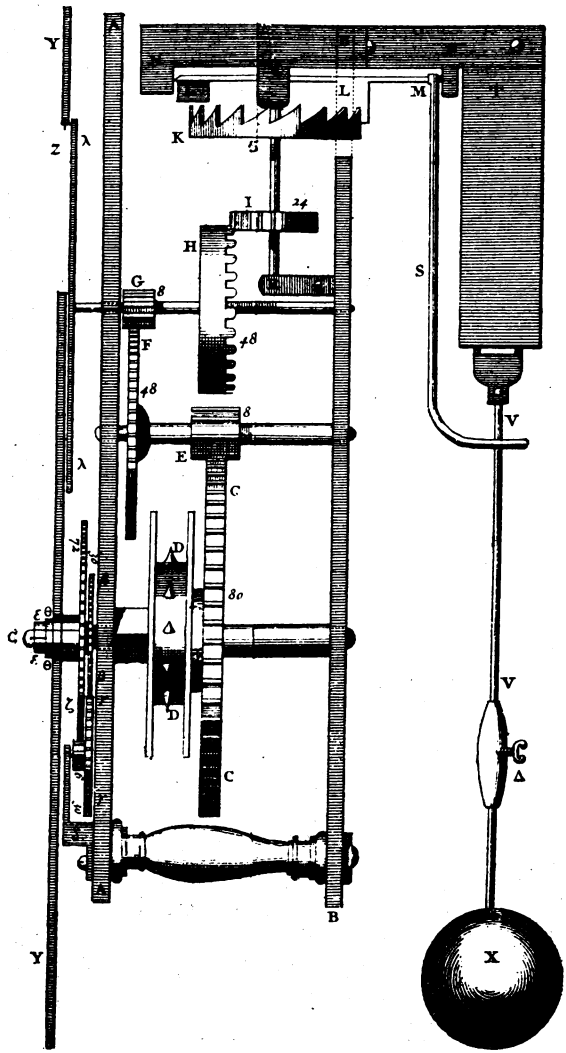


Fig. 65.

Digitized by Google

La comunicazione del Pendolo coll'asse L M, è ristabilita per mezzo della « Clavicola » S, la quale, ripiegata nella parte inferiore tiene a modo di forchetta il pendolo, al cui movimento deve così obbedire, mentre però allo stesso tempo sollecitato dalla spinta dei denti contro le lamelle in L, a ogni oscillazione dà una piccola spinta al pendolo, che quindi non si ferma, finchè i pesi agiscono sulle ruote.

Oltre il Globo principale X, il pendolo porta un piccolo peso △, scorrevole lungo l'asta del medesimo, per mezzo del quale, spostando il centro di gravità, si possono accelerare o ritardare le oscillazioni. Ordinate così le cose, il moto delle ruote diventa regolarissimo; la loro disposizione (col rispettivo numero dei denti) è poi tale, che gli indici, montati sugli assi, mostrano le ore ed i minuti, anzi se si vuole, anche i minuti secondi.

120. — Ed ecco, come Ugenio ordinò questi indici: davanti alla lamina A A ne fissò un'altra Y Y a poca distanza, sulla quale intorno al punto estremo C dell'asse inferiore erano disposti i numeri delle ore e minuti nel modo ora conosciutissimo. Intorno all' asse medesimo fissò (tra le lamine A e Y), per mezzo d'un asse vuoto cilindrico, una nuova ruota β β. Il tubetto cilindrico, che porta in ε l'Indice dei Minuti, è fissato leggermente sull'asse principale in modo tale, che questo ultimo lo fa girare, però si potrà pure girare l'indice indipendentemente. La ruota β β mette in moto un' altra *r r*, fornita dello stesso numero di denti (30) come β, e munita d'un rocchetto con 6 denti; questi ultimi comunicano colla ruota dentata ζ (con 72 denti), la quale per mezzo d'un tubo più ampio gira pure intorno all'asse principale portando in Θ l' Indice delle ore.

Perfino l'Indice dei Secondi non mancava nell'orologio di Ugenio; applicato immediatamente all'estremità dell'asse della ruota H, lo si vedeva girare nel centro di una piccola lamina λ λ, divisa in 60 parti uguali.

121. — Combinate così tutte le cose, è chiaro che mentre la ruota C fa un giro solo, quella di F ne fa 10, quella di H 60, quella di K 120. La ruota K co' suoi 15 denti, che alternativamente toccano le due lamine L, producono durante una rotazione di K 30 tocchi, ai quali rispondono altrettante

Digitized by Google

oscillazioni (semplici) del pendolo. Ai 120 giri di K corrispondono quindi 3600 oscillazioni (semplici) del pendolo. Ora questo è il numero dei secondi contenuti in un'ora. Dunque supposto che la lunghezza del pendolo sia tale, che batta i singoli secondi, nello spazio di un'ora la ruota C coll'Indice dei minuti farà una volta il giro della Sfera (percorrendo i 60 Minuti della medesima).

Colla ruota C anche la ruota β e con essa la ruota *r* col suo rocchetto, faranno un giro solo nello stesso tempo. Ma ad

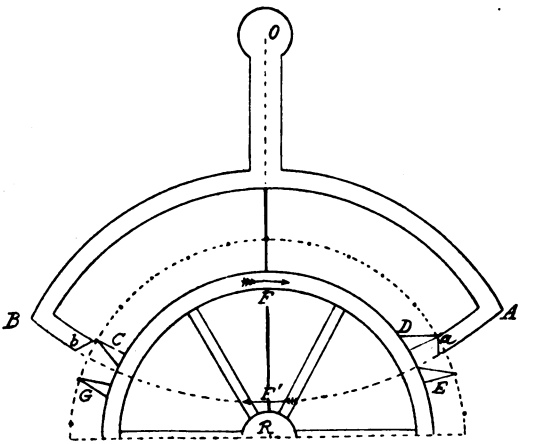


Fig. 66.

un giro del rocchetto corrispondono 6 : 72 ossia 1 : 12 rotazione di ζ e dell'Indice delle ore.

La ruota H invece fa 60 giri interi allo stesso tempo; cioè in un minuto l'Indice dei Secondi fa una rivoluzione intera.

Abbiamo dunque un misuratore perfetto del tempo, il quale segna automaticamente non soltanto il numero delle ore, ma quello dei minuti (primi) e secondi.

Art. I. – Pendolo astronomico.

122. — Le oscillazioni del Pendolo nell'orologio di Ugenio doveano essere abbastanza ampie, cosicchè l'isocronismo perfetto non sembrava guarantito. L'inventore seppe in gran parte

Digitized by Google

superare questa difficoltà colla sospensione del Pendolo tra due lamine piegate, che lo costringevano di descrivere colle sue oscillazioni piuttosto una curva cicloidale, la quale conserva l'isocronismo anche nelle oscillazioni più ampie.

Senza entrare in una descrizione minuta di questi e simili perfezionamenti,(1) indichiamo nella Figura 66 il modo come oggidì si suole ottenere un **isocronismo perfetto** nei Pendoli. Il pendolo, col suo moto oscillatorio, muove « l'àncora » A B, sospesa in O, ora verso A, poi verso B. La ruota dentata R sia messa in moto dal peso dell'orologio nel senso della freccia F. Quando l'àncora oscilla da A verso B, la sua parte inferiore ripiegata in B, che riteneva il dente C, permette a questo di fare un piccolo passo verso F, ma allo stesso tempo, l'estremità A dell'àncora ferma il dente D dall'altra parte; questo si appoggia col suo lato inferiore sull'estremità ripiegata di A. Oscillando il pendolo da B verso A, il dente D viene liberato, così esso fa un piccolo passo in senso della freccia F, ma subito la ruota viene fermata di nuovo da B, che frammettesi tra i denti C e G.

In questo modo ogni dente della ruota viene a mettersi successivamente in contatto con A poi con B. Se vi sono 30 denti (come lo indicano i punti della Figura), vi saranno 60 scappamenti; ognuno di questi corrisponderà ad un'oscillazione semplice (andata o ritorno) del pendolo; se quest'ultima si compie in un secondo, tutto il resto si ottiene come di sopra.

I denti della ruota R sono tagliati in maniera, che la parte che deve appoggiarsi sull'àncora, combacia perfettamente con essa, cioè colla periferia del circolo puntato A B, che ha il suo centro in O. Così avviene, che il pendolo può compire senza verun ostacolo la sua oscillazione, essendochè la ruota fermata non fa il minimo spostamento, e la sua pressione si esercita semplicemente sul centro O senza il minimo influsso sull'accelerazione dell'oscillazione. L'unica cosa da emendare sarà la perdita di forza dall'attrito dei denti contro l'àncora. Per

(1) Notevole è quello del sig. Riffel di Monaco (Baviera) il quale, con un congegno speciale, ha reso il pendolo quasi del tutto indipendente dall'àncora, che soltanto per mezzo della molla di sospensione sta in comunicazione col medesimo; una leggiera torsione di questa molla assicura la continuazione delle oscillazioni del pendolo libero.

Digitized by Google

restituire questa perdita, i denti dell'àncora sono tagliati a scarpa, cioè gli ultimi piccoli piani *a* e *b*, rivolti verso la ruota, fanno un piccolo angolo colla periferia del circolo puntato concentrico con R. Conseguentemente la punta del dente che scappa urtando leggermente questo piano inclinato, dà una piccola spinta al pendolo (al momento della sua massima accelerazione). Così l'andamento continuo è assicurato senza perdita di precisione.

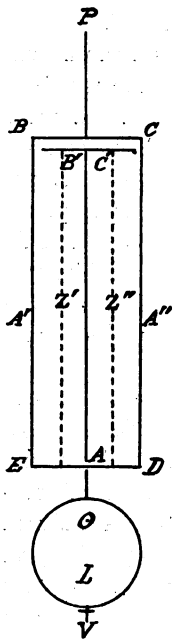


Fig. 67.

123. — Restava ancora un difetto nei pendoli così perfezionati. I cambiamenti di temperatura nelle varie stagioni ed in intervalli anche relativamente brevi di tempo, turbano l'andamento dell'orologio. Il calore, dilatando l'asta del pendolo, sposta il suo centro di gravità e quindi anche il centro di oscillazione. Conseguentemente le singole oscillazioni si fanno in un tempo più lungo, quando la temperatura cresce, in un tempo più breve, quando diminuisce.

Per rimediare a questo inconveniente, alcuni adoperano invece d'un'asta metallica, una verga di legno ben disseccato (per esempio, d'abete che ha un coefficiente di dilatazione molto piccolo di 0,00000352). L'Inglese Graham († 1751) trovò il modo di compensare direttamente il suddetto difetto, costruendo i cosidetti **Pendoli a compensazione.** Un tal pendolo viene formato (Figura 67) da più asticelle di metalli diversi, per esempio di acciaio A A′ A″ e di zinco Z′ Z″ che hanno un coefficiente di dilatazione diverso.

Una molla assai flessibile tiene sospeso il peso L per mezzo del telaio esterno rettangolare B C D E; sul lato inferiore E D sono fissate le asticelle di zinco Z′ Z″, le quali all'estremità superiore portano una piccola sbarra orizzontale B′ C′, nel mezzo della quale è fermata l'asta centrale A, che passa liberamente per un foro di E D e porta la lente (il peso) L, [1] spostabile per mezzo della vite di correzione V.

(1) Alla forma esterna, rassomigliante ad una graticola, è dovuto il nome di Pendolo a graticola.

Digitized by Google

Ora rappresentiamo con l la lunghezza del pendolo (semplice) cioè la distanza del punto P di sospensione dal centro O di oscillazione, allora il problema si riduce a questo, di rendere l indipendente dalla temperatura.

Indicando (alla temperatura di 0°) con x la distanza del punto P da E D, con y quella di O da B′ C′; con z la lunghezza delle asticelle di zinco, ossia la distanza di B′ C′ da E D sarà:

$$l = x + y - z ;$$

se λ e λ' sono i coefficienti di dilatazione lineare dell'acciaio e dello zinco, ad una temperatura $t°$ avremo

$$x(1 + \lambda t) + y(1 + \lambda t) - z(1 + \lambda' t).$$

Affinchè l rimanga invariata dovrà sussistere l' equazione

$$l = x + y - z = (x + y)(1 + \lambda t) - z(1 + \lambda' t)$$

quindi $x + y = z\frac{\lambda'}{\lambda}$; ossia $\frac{x+y}{z} = \frac{\lambda'}{\lambda}$.

Cioè le lunghezze complessive dei due metalli devono stare in ragione inversa dei loro coefficienti di dilatazione.

Nel caso [1] nostro $\lambda = 0{,}000012$; $\lambda' = 0{,}000031$

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{31}{12} .$$

124. — La **compensazione** più comunemente adoperata dagli astronomi è quella **a mercurio,** inventata dallo stesso

(1) Adoperando cinque asticelle sole, i coefficienti devono essere molto diversi, essendo necessariamente $x + y$ più del doppio di z. Adoperando, per esempio, il ferro e l'ottone, i coefficienti dei quali stanno come 187 : 125, ossia circa 3 : 2, ci vogliono almeno nove asticelle, cioè oltre quella di mezzo, due coppie discendenti di ferro e due coppie ascendenti di ottone. Questi coefficienti dovrebbero ogni volta essere determinati pei metalli in questione.

In pratica sarà da raccomandarsi di esaminare, se le asticelle suddette siano veramente fissate nel modo richiesto dalla teoria; altrimenti formano un ingombro pel pendolo; serviranno forse di ornamento, ma compensazione non vi sarà.

Digitized by Google

Graham. Questi sostituì, in luogo della lente metallica del pendolo, un vaso cilindrico pieno di mercurio. (1) A cagione del peso considerevole di questo metallo, il centro di oscillazione sta poco al disopra del punto di mezzo del mercurio. Col crescere della temperatura l'asta del pendolo si allunga; il centro di oscillazione si allontanerebbe dal punto di sospensione, se il mercurio allo stesso tempo dilatandosi non lo mantenesse al medesimo posto. Le proporzioni della massa di mercurio e del vaso cilindrico sono scelte in modo tale da conservare sensibilmente inalterato il centro di oscillazione.

Chiamiamo di nuovo l la lunghezza del pendolo (semplice) alla temperatura 0°, a l'altezza della colonna di mercurio, allora la base del vaso dista dal punto di sospensione

$$l + \frac{a}{2}$$

se λ indica il coefficiente di dilatazione dell'asta di ferro per una temperatura t^0 avremo per la distanza corrispondente

$$\left(l + \frac{a}{2}\right) \cdot \left(1 + \lambda t\right) \qquad (1)$$

La temperatura t cambierà però anche l'altezza a del mercurio, la quale, se λ' è il coefficiente del mercurio, diventa

$$a\,(1 + \lambda' t);$$

la metà dell'altezza

$$\frac{a}{2}\,(1 + \lambda' t) \qquad (2)$$

La quantità (1) indica l'abbassamento del centro di oscillazione in conseguenza della dilatazione del ferro; l'altra (2) l'innalzamento del medesimo a cagione del mercurio dilatato; per la compensazione dovrà quindi sussistere l'equazione

$$\left(l + \frac{a}{2}\right) \cdot \left(1 + \lambda t\right) - \frac{a}{2}\left(1 + \lambda' t\right) = l$$

(1) Il cilindro esterno di ferro fuso ne rinchiude un altro di vetro, nel quale si trova il mercurio.

Digitized by Google

quindi $$a = \frac{2\,l\,\lambda}{\lambda' - \lambda} \qquad (3)$$

la quale formola dà l'altezza della colonna di mercurio nel vaso.

Sia p. es. $l = 1$ metro $= 100$ cm. poichè $\lambda = 0{,}0000125$ e $\lambda' = 0{,}000179$ avremo $\lambda' - \lambda = 0{,}0001665$; quindi

$$a = \frac{200 \cdot 0{,}0000125}{0{,}0001665} = \text{cm. } 15{,}01$$

Affinchè i cambiamenti di temperatura (talvolta subitanei) si comunichino ugualmente presto all'asta di ferro ed al mercurio, si raccomanda di adoperare più vasi cilindrici di diametri minori. (1)

Art. II. — Cronometri trasportabili.

124. — Il nome di **Cronometro** (Misuratore del tempo), per sè compete a qualsivoglia orologio, specialmente a quelli, che muniti delle accennate compensazioni, indicano con grande precisione le ore, i minuti ed i secondi. In un modo specialissimo però viene adoperato questo nome, quando trattasi di un tal misuratore del tempo, il quale inoltre è facilmente trasportabile e serve quindi nei viaggi, sia in terraferma sia in mare.

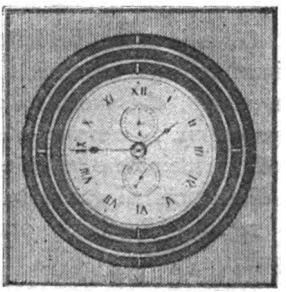


Fig. 68.

(1) Non possiamo qui entrare nella descrizione di molti altri metodi di compensazione inventati fino ai giorni nostri. Ultimamente è stata scoperta una lega di acciaio e nickel sensibilmente immune dalle alterazioni di temperatura, la quale senz'altra compensazione fornisce un pendolo quasi inalterabile.

Si costruiscono pure orologi con compensazione speciale riguardo alla variabile pressione atmosferica, dando al pendolo la forma d'un barometro, ovvero includendo tutto l'orologio in una cassa, ermeticamente chiusa, priva d'aria atmosferica.

Digitized by Google

Il **Cronometro marino** oramai è stato tanto perfezionato nelle singole sue parti, che colla precisione delle sue indicazioni rivaleggia col Pendolo astronomico. La figura 68 ne mostra la forma esterna. Tutto il meccanismo di orologeria è rinchiuso in una cassa cilindrica, il cui coperchio porta la mostra colle varie lancette (Fig. 68). Due perni diametralmente opposti tengono sospeso l'orologio in un anello concentrico, il quale similmente con due perni (90° distanti dai primi) si appoggia sulle pareti della cassa esterna, che suol avere la forma d'un cubo.[1] Questa sospensione cardanica[2] permette all'orologio (il cui centro di gravità sta assai al disotto di questi assi), di conservare sempre il piano della mostra in posizione orizzontale, qualunque inclinazione si dia alla cassa esterna. Un piccolo meccanismo permette però di sopprimere quei movimenti intorno agli assi.

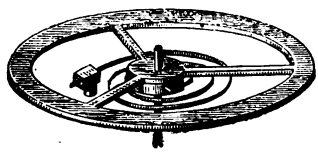


Fig. 69.

Oltre le tre solite lancette per l'indicazione delle ore, dei minuti primi e secondi, il cronometro suole essere munito di un quarto, che indica il numero delle ore, passate dopo l'ultima carica. Si conosce così ad ogni momento la tensione della molla principale e viene escluso più facilmente il pericolo, che si dimentichi di caricarla di nuovo in tempo opportuno.

125. — Passiamo ora alla descrizione delle parti principali.

Il **Bilanciere** antico (Fig. 64) oscillando molto irregolarmente, non potea fare le veci del pendolo. Per farlo oscillare colla stessa regolarità, Ugenio vi aggiunse una molla a spirale elastica (Fig. 69), con una estremità fissata all'asse del bilanciere, coll'altra alle pareti dell'orologio. La lunghezza della

(1) La detta cassa suol collocarsi in un'altra controcassa, che ha il fondo e le pareti rivestiti con dei cuscinetti bene asciutti, atti a diminuire l'influenza delle scosse e di mantenere la temperatura più costante.

(2) Girolamo Cardano († 1576 in Roma) viene considerato come l'inventore. Si noti però che, ad onta della cosiffatta sospensione, l'orologio è soggetto a movimenti oscillatori, specialmente quando il portatore (la nave) danno degli urti alla cassa esterna, nondimeno le ondulazioni dell'orologio stesso sono così rese assai dolci.

Digitized by Google

molla spirale regola (come nel pendolo) la durata delle singole oscillazioni.(1)

La forma odierna del Bilanciere o Regolatore nei Cronometri marini, è un po' diversa da quella primitiva. Per eliminare l'influsso delle variazioni di temperatura, esso è munito d'un apparato di compensazione. Le figure 70 e 71 ne mostrano il tipo più usitato.

Dall'asse *c*, intorno al quale oscilla il bilanciere, diramano in direzione opposta due raggi, che portano la periferia della ruota *b* staccata in due parti simmetriche: queste sono formate ciascuna da due lamine di metalli diversi, che hanno un coefficiente di dilatazione diverso, cosicchè crescendo la temperatura, la lamina esterna si dilata più dell'interna. Conseguentemente scegliendo e disponendo metalli in modo tale, che i pesi montati sulla periferia restino alla stessa distanza dal centro *c*, avremo una perfetta compensazione. Inoltre la posizione di questi pesi compensatori sulle lamine circolari, può essere variata a mano secondo il bisogno. Le due viti regolatrici all'estremità dei raggi servono per accorciare ed allungare i bracci oscillanti, e rendere così le singole oscillazioni più brevi o più lunghe.

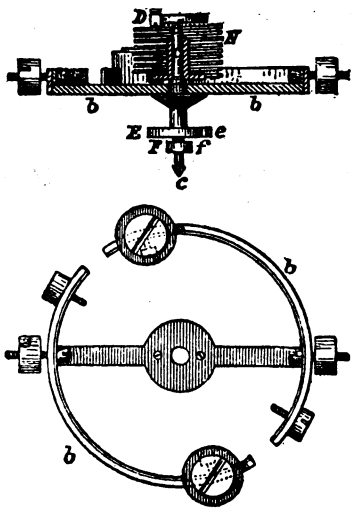


Fig. 70 e 71.

Per la Spirale elastica, invece della forma piana della figura 69, si preferisce nei Cronometri marini ed astronomici quella ad Elica N (Fig. 70), le singole spire della quale, tutte di uguale diametro, formano la superficie di un cilindro.

(1) Negli orologi ordinari tascabili un piccolo braccio di leva permette di cambiare leggermente il punto di appoggio della spirale e di regolare così l'andamento.

Digitized by Google

Così l'isocronismo delle oscillazioni (anche più grandi) sarà meglio garantito.

126. — La Molla principale dell'orologio, che mette in moto tutto il roteggio, eserciterà naturalmente una pressione maggiore sopra quest'ultimo, quando è caricata recentemente; quando invece è quasi del tutto scarica, la pressione sarà assai minore. Questo influsso vario si farebbe facilmente sentire nell'andamento dell'orologio. Per eliminarlo serve l'apparato rappresentato nella figura 72. La trasmissione del moto della molla A al roteggio dell'orologio viene fatta per mezzo di una Catenella articolata B, avvolta con una estremità in-

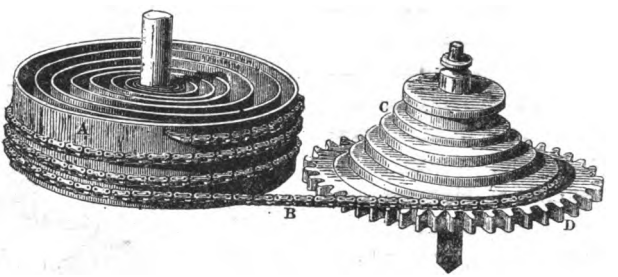


Fig. 72.

torno al tamburo A della molla, coll'altra sopra una specie di cono troncato C (chiamato **Chiocciola**), sul lato del quale si vede un numero di gradini che formano una curva rampante.

La chiavetta per caricare l'orologio viene applicata all'asse della chiocciola. Col girare di questa, la catenella copre successivamente tutte le spire, da D fino a C, ravvolgendo allo stesso tempo la molla motrice, rinchiusa in A, che ora ha il massimo della sua forza, a far girare il tamburo, e (mediante la catena) la chiocciola, da B verso A, rispettivamente da D verso B. A misura poi che la molla motrice si svolge, si svolge pure la catenella, allontanandosi man mano dall'asse della chiocciola ed acquistando tanto di forza sopra questa, quanto perde la molla col suo svolgimento.

127. — Lo **Scappamento** dei cronometri si rassomiglia generalmente parlando a quello dei pendoli. Esso sarà però tanto più perfetto quanto è reso più indipendente dall'azione della molla principale. Per amore di brevità tralasciamo qui i

Digitized by Google

varii modi inventati nei tempi successivi (di scappamento a cilindro, ad àncora, ecc.) per dare un cenno degli ultimi perfezionamenti colla descrizione del cosidetto **Scappamento libero**.[1]

R (Fig. 73) rappresenti l'ultima ruota dentata del roteggio messo in moto dalla molla maestra nel senso della freccia. La figura mostra il momento, quando il dente D viene fermato da un tacco (in rubino) A. Questo sporge da una molla doppia OC ed OC′, riunita in O e pieghevole intorno a questo punto. OC′ è una lamina sottile d'oro che si piega facilmente verso la ruota R; OC di acciaio è più robusta e

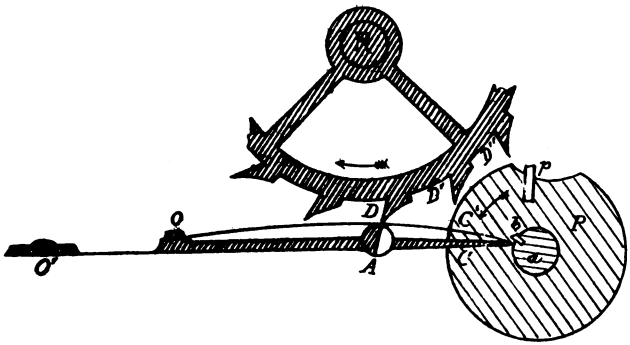


Fig. 73.

serve per appoggiare e fortificare l'altra, se questa viene urtata nel senso contrario. Un collarino a[2] intorno all'asse del regolatore porta il Dito di liberamento b, il quale mentre il bilanciere oscilla nel senso della freccia, urtando contro C e C′ libera il dente D dal suo arresto in A. Questo scappa, segulto immediatamente dal seguente dente D′, che viene fermato subito dalla molla ora ritornante alla sua posizione di prima. Il dito b, avendo compito col bilanciere la sua oscillazione ritorna, piegando adesso nel momento del suo passaggio la sola molla sottile OC′ in senso inverso.

(1) Il nome indica che il bilanciere oscilla liberamente senza attriti o sfregamenti nocivi, essendochè i contatti si riducono a colpi secchi ed urti brevissimi (dove neppure occorre l'olio) tra rubini e parti metalliche.

(2) Cf. F f fig. 70.

Digitized by Google

Questi piccoli urti del Dito di liberamento, benchè si compiano in un tempo brevissimo, quasi istantaneo, nondimeno dovrebbero col tempo far cessare le oscillazioni del bilanciere e quindi fermare l'orologio, se non vi fosse un'opportuna restituzione della forza perduta. A questo scopo serve il dischetto P [rappresentato da E *e* in Fig. 70], invariabilmente connesso coll'asse (*a*) del bilanciere, che porta in *p* una piccola leva (Dito di leva). Anche questo oscilla col regolatore ed è disposto in modo tale, che mentre il dente (D) viene liberato dal Dito di liberamento (*b*), si trova tra i due denti susseguenti (D′ e D″), ricevendo un piccolo urto dall'ultimo, che restituisce così in *p* al bilanciere la forza perduta in *b*.

Non vi è quindi scappamento che a ciascuna doppia oscillazione del regolatore, ossia quando questo oscilla contro OC, liberando il tacco A.[1]

Avendo così descritto le funzioni delle parti principali dei Cronometri moderni, per altri particolari più minuti, che riguardano il maneggio pratico di questi strumenti delicati, rimandiamo agli autori che ne trattano *ex professo*.

Art. III. — Cronografi.

128. — Nelle osservazioni astronomiche, l'occhio dell'osservatore diretto verso il cielo non può vedere allo stesso tempo le indicazioni dell'orologio. Spesse volte i battiti del pendolo (rinforzati talvolta dai tocchi d'un campanello elettrico) potranno supplire all'organo della vista; altrimenti un secondo osservatore sarà necessario, per notare i varii momenti del tempo.

Eccellenti servizi prestano in simili circostanze i cosidetti **Cronografi**,[2] cioè apparati registratori, che stanno in comunicazione elettrica da una parte col pendolo astronomico, e dall'altra colla mano dell'Osservatore.

Un **apparato telegrafico ordinario di Morse**[3] può servire a questo scopo. Soltanto invece di una leva sola che im-

(1) Negli orologi ordinari lo scappamento suole effettuarsi ad ogni oscillazione semplice.

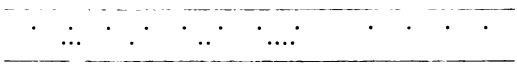
(2) Χρόνος (tempo) e γράφω (scrivo).

(3) La descrizione trovasi in qualunque libro di Fisica.

Digitized by Google

prime i soliti punti (e linee) sul nastrino di carta, ce ne vogliono due, una accanto all'altra. La prima viene mossa dal pendolo, la seconda dall'osservatore.

Il pendolo dell'orologio colla sua punta metallica passa ad ogni oscillazione per una goccia di mercurio, chiudendo per un brevissimo intervallo la corrente elettrica, ed imprimendo così automaticamente un punto nella striscia di carta ad ogni minuto secondo. L'osservatore ai momenti voluti chiude a mano l'altro circuito, che alza la seconda leva, la quale imprime un numero correlativo di punti accanto alla serie dei secondi nel modo seguente:



L'interruzione nella serie dei secondi indica che comincia un nuovo minuto; sarà quindi facile di costatare (finita l'osservazione) con semplice misura meccanica la posizione dei punti, fatti a mano, relativamente a quelli dei secondi, donde poi si conosce il momento esatto delle singole osservazioni (colla precisione di $\frac{1}{10}$ di secondo).

129. — La figura 74 rappresenta un altro tipo di **Cronografo a cilindro** più adattato all'uso astrometrico. Il cilindro circondato da un foglio di carta gira intorno al suo asse per mezzo d'un orologio speciale, che vedesi a destra della figura; un tubetto pieno d'inchiostro s'appoggia leggermente colla punta bucata sulla carta, tracciando ivi una linea interrotta ad ogni secondo dalla corrente elettrica, chiusa del pendolo. Interruzioni particolari possono essere effettuate dall'osservatore nel modo già descritto. L'apparecchio scrivente si sposta pian piano lungo il cilindro, cosicchè le singole tracce a modo di spire

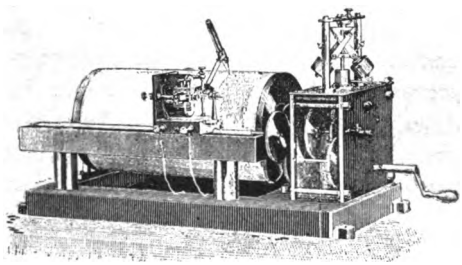


Fig. 74.

Digitized by Google

si mantengano parallele nei singoli giri del cilindro senza confondersi.

Il vantaggio di questo apparato cronografico sopra quell'altro di Morse consiste in ciò, che lo stesso foglio di carta può servire per lungo tempo; che il confronto delle singole osservazioni è più facile, che le osservazioni originali si possono molto più comodamente conservare e (se sia necessario) controllare di nuovo. Se tutto l'apparato è regolato in modo tale, che ad un minuto corrisponda un giro di cilindro, tagliata la carta lungo il principio dei minuti e spianata, i numeri corrispondenti dei secondi si troveranno disposti nella stessa linea parallela all'asse di rivoluzione, ossia parallela al taglio.

130. — Per eliminare interamente nelle suddette operazioni l'intervento dell'osservatore, si ebbe pure ricorso alla Fotografia; applicando cioè la camera fotografica al telescopio. Una stella, che in conseguenza del moto apparente della Sfera celeste attraversa il campo di questo, imprime sulla lastra una linea continuata. Se invece un otturatore qualunque in comunicazione elettrica col pendolo, espone ad ogni secondo soltanto per un momento la lastra sensibile all'azione della luce stellare, la stella stessa lascierà le impressioni dei singoli secondi in maniera somigliante come il cronografo. Se dunque il telescopio avea una posizione determinata, per esempio nel piano del Meridiano, indicato da un filo micrometrico (fotografato separatamente coll'illuminazione del campo,[1] sarà facile determinare la posizione esatta di questo filo tra due secondi successivi e determinare la frazione dei medesimi anche fino ad un centesimo di secondo. Avremo così un perfetto **Fotocronografo**,[2] applicabile almeno alle Stelle più luminose, da usarsi vantaggiosamente in quelle ricerche astrometriche dove la massima precisione viene richiesta.

131. — Notiamo qui infine, che pei contatti elettrici da effettuarsi per mezzo del pendolo, non dovrebbe usarsi il pendolo normale, l'andamento del quale potrebbe facilmente venir disturbato dalla corrente elettrica e dai congegni necessari per l'in-

(1) Di queste cose parleremo più estesamente più sotto.

(2) Un primo apparato di questa specie fu ideato dal P. Fargis S. J., assistente dell'Osservatorio di Georgetown (Washington, America).

Digitized by Google

terruzione dei contatti. Si suole adoperare quindi un secondo pendolo, che prima e dopo l'osservazione si confronta esattamente col pendolo normale. Anzi un pendolo qualunque col solo scappamento, senza il roteggio ordinario dei minuti e delle ore, potrebbe servire a questo scopo.

Corollario I. — Regolamento, Stato ed Andamento d'un Orologio.

132. — Per sapere se un orologio indica il tempo giusto, è necessario di confrontarlo spesso coll'andamento della Sfera celeste, che è il vero regolatore di tutti gli orologi.

Un pendolo siderale deve esattamente indicare l'angolo orario (Cfr. n. 37) del punto d'Ariete. Osservando il passaggio d'una stella qualunque (della quale si conosce l'Ascensione retta)[1] al Meridiano locale, l'orologio siderale deve indicare la stessa coordinata, espressa in tempo; se per esempio l'ascensione retta della stella è di $30^{\circ}\ 15'\ 45''$, il tempo siderale, che deve segnare l'orologio, sarà $2^{h}\ 1^{m}\ 3^{s}$.

Viceversa se l'orologio siderale va bene, basta osservare i passaggi delle stelle al Meridiano, per conoscere la loro ascensione retta.

Un cronometro, che indica il tempo solare medio, si regola facilmente in simile maniera, osservando il passaggio del Sole ed aggiungendone l'equazione del tempo (Cfr. n. 109).

133. — Spesse volte in pratica si offre il problema di dover determinare il tempo siderale di un luogo, corrispondente ad un momento dato del tempo solare medio e viceversa. Per facilitare questa operazione, le effemeridi astronomiche danno per ogni giorno il rispettivo tempo sidereo tanto per il mezzodì vero (passaggio del Sole vero al meridiano), quanto pel mezzodì medio, almeno per il meridiano dell'effemeride (Greenwich, ecc.).

Si domanda per esempio: Quale era l'ora siderale in Roma al momento del mezzodì medio dell'Europa centrale[2] il giorno 6 marzo 1903?

(1) Le Coordinate delle stelle principali sono indicate nelle effemeridi astronomiche (Il « Nautical Almanac », ecc., v. n. 110).

(2) Il segnale di mezzogiorno sul Collegio Romano, che ora suol darsi, fu istituito (1847) dal benemerito P. De Vico d. C. d. G., allora diret-

Digitized by Google

L'« Almanacco nautico » (di Londra) dà pel mezzogiorno rispettivo medio di Greenwich il tempo siderale: $22^h\ 52^m\ 10^s,43$. Siccome però il meridiano dell'Europa centrale dista $15° = 1^h$ verso Est da Greenwich, alle ore 12 di Greenwich corrisponde l'ora 1 dopo mezzogiorno dell'Europa centrale.

Se dunque in Greenwich alle ore 12, una stella di ascensione retta $22^h\ 52^m\ 10^s,43$ passa al Meridiano, allo stesso momento sul Meridiano dell'Europa centrale passerebbe una stella di A. R. $23^h\ 52^m\ 10^s,43$; in Roma, il cui Meridiano dista da quello di Greenwich verso Est $49^m\ 55^s,55$, l'ascensione retta d'una stella passante in quel giorno (all'ora 1^h p.m.) al Meridiano del Collegio Romano, avrebbe l'ascensione retta di $22^h\ 52^m\ 10^s,43 + 49^m\ 55^s,55 = 23^h\ 42^m\ 5^s,98$. Per sapere quale era il tempo siderale un'ora prima (di tempo solare medio), ossia al tempo del segnale di Mezzogiorno medio E.C. bisogna cambiare l'intervallo di 1^h tempo medio solare (t_m) in tempo siderale (t_*)

$$1^h\ t_m = 1^h\ 0^m\ 9^s,8565\ t_*$$

sottraendo dunque questo dal tempo siderale trovato, avremo per il Mezzogiorno del tempo medio E.C. il 6 marzo 1903 in Roma il tempo siderale

$$23^h\ 42^m\ 5^s,98 - 1^h\ 0^m\ 9^s,86 = 22^h\ 41^m\ 56^s,12.$$

Questo differisce dal tempo sovraindicato per Greenwich di $10^m\ 14^s,31$. Donde si potrebbe dedurre questa regola pratica: Per avere il tempo siderale del Collegio Romano[1] al mezzogiorno medio dell'Europa centrale, si prende il tempo siderale di Greenwich corrispon-

tore della Specola del detto Collegio, per indicare il mezzogiorno medio di Roma. Significava per la città eterna l'introduzione dell'uso ufficiale del tempo solare medio invece del tempo vero.

(1) Per un altro punto di Roma bisogna tener conto della distanza del suo meridiano da quello del Collegio Romano; anzi dove si vuole gran precisione, si deve pure tener conto del tempo che il suono del cannone impiega per arrivare da Castel Sant'Angelo al punto in quistione; per una distanza, come Santa Maria Maggiore, farebbe già una differenza di otto secondi.

Digitized by Google

dente al mezzogiorno medio di questa stazione, diminuendolo di $10^m\ 14^s,31$.

L'esempio dato si applicherà facilmente a simili trasformazioni per altri Meridiani.

134. — Stato d'un orologio (s) suol chiamarsi la differenza tra il tempo giusto (t) ed il tempo indicato (t') dal medesimo.

Avremo quindi: $t - t' = \pm s$ ossia $t' \pm s = t$, cioè aggiungendo s col suo segno rispettivo a t' avremo t. Se $s = 0$, l'orologio va bene, se s positivo l'orologio sta indietro, se negativo esso va avanti.(1)

Se lo stato d'un orologio rimane lo stesso da un giorno all'altro, questo è un segno, che l'**andamento** è (come dovrebbe essere) regolarissimo; cioè l'orologio conta esattamente 86 400 secondi in 24 ore, ossia in 1440 minuti.

Se il numero dei secondi segnati nello stesso intervallo fosse maggiore o minore, l'andamento giornaliero sarebbe accelerato o ritardato. Un tale difetto però non indica che l'orologio non sia buono, purchè il suo andamento (avanzo o ritardo giornaliero) sia costante. Sapendo per esempio che un cronometro guadagna ogni giorno 2^s, conoscendo lo stato di oggi facilmente si conoscerà lo stato di un altro giorno qualunque. Se oggi $s = 0$, dopo otto giorni sarà $s = -16^s$.

Si vede dunque, che la bontà d'un orologio non dipende tanto dalle sue indicazioni attuali più o meno giuste, quanto dal suo andamento regolare. Se questo invece fa dei salti incontrollabili, allora l'orologio non potrà servire per usi, nei quali si richiede grande precisione.

Corollario II. — Confronto di due orologi.

135. — Un tale confronto non è difficile, quando i due orologi battano i secondi del medesimo tempo (solare ovvero siderео). Contando allora i battiti dell'uno coll'udito, si guarda l'altro, notando a quale dei numeri contati risponde il principio d'un nuovo minuto dell'altro.

Non è tanto semplice il confronto d'un pendolo a tempo medio solare con un cronometro a tempo siderale, se si voglia

(1) Altri usano anche il termine Errore dell'orologio nello stesso senso.

Digitized by Google

sapere esattamente, a quale frazione di secondo dell'uno risponda un secondo intero dell'altro.

A tale scopo si rifletta che $360^s\ t_* = 359^s\ t_m$, quindi $6^m\ t_* = 5^m\ 59^s{,}0170\ t_m$. Donde si conclude che i due orologi ogni 6 minuti devono battere sensibilmente all'unisono. Indi cominceranno a divergere; la divergenza sarà massima dopo 3 minuti per condurre ad una nuova consonanza dopo altri 3 minuti. Quando questa sembra perfetta, si notano i rispettivi secondi, che ora sono secondi interi. Partendo da questo momento si trova poi per mezzo del calcolo, a quale frazione di secondo dell'uno corrisponda un altro secondo (o frazione di secondo) dell'altro, e ciò con una precisione di circa $0^s{,}05$.

Se uno degli orologi (come i cronometri marini) batte i mezzosecondi, la coincidenza dei battiti seguirà ogni tre minuti. Sia per esempio osservata una coincidenza, allorquando il cronometro C nota $5^h\ 20^m\ 0^s\ t_m$, mentre il pendolo P nota $2^h\ 7^m\ 11^s{,}5\ t_*$. Circa tre minuti dopo si osservi una nuova coincidenza, cioè quando C mostra $5^h\ 23^m\ 10^s\ t_m$, P invece $2^h\ 10^m\ 22^s\ t_*$. L'intervallo osservato è uguale a $3^m\ 10^s\ t_m$, ossia $3^m\ 10^s{,}5\ t_*$; cioè il cronometro ha guadagnato una battuta. Dal num. 85 risulta che $3^m\ 10^s\ t_m$, trasformati in tempo sidereo, sono uguali a $3^m\ 10^s{,}52\ t_*$, il qual numero, eccedendo il precedente di $0^s{,}02$ soltanto, dà una prova dell'esattezza dei confronti.

Digitized by Google

PARTE TERZA

STRUMENTI ASTROMETRICI

CAPITOLO I.

STRUMENTI PRINCIPALI DEGLI ANTICHI.

ART. I. — STRUMENTI SENZA CIRCOLI GRADUATI.

136. — Essendo sempre più facile in pratica la divisione (geometricamente rigorosa) di una linea retta in un numero qualunque di parti uguali, che non quella di un arco circolare, gli antichi inventarono e costruirono degli strumenti goniometrici, nei quali la misura degli angoli si riduceva a quella dei lati di un triangolo.

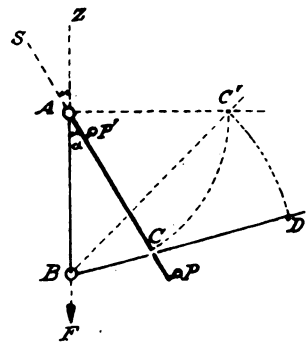


Fig. 75.

Il Triquetro (Fig. 75), già descritto da Tolomeo nel suo *Almagesto* (l. 5, c. 1), era uno di questi strumenti, e fu usato fino al secolo XVI.[1] Una verga verticale AB era connessa al vertice A con una seconda verga AP, girevole nel piano BAC intorno ad A. Una terza verga BD era similmente connessa con AB nel punto B. BD passava per un forellino C, praticato sulla AP ad una distanza AC = AB. BAC rappresentava in questo modo un triangolo isoscele; l'angolo BAC = α poteva variarsi a piacimento, lasciando invariata nella sua po-

(1) Il Triquetrō (lat. triquetrum = triangolo) viene anche chiamato Regula Ptolemei oppure Strumento parallattico. Quest' ultimo nome accenna alla sua variabilità (παραλλάσσω vario).

Digitized by Google

sizione verticale la verga AB, ed alzando semplicemente, ovvero abbassando AP, per il forellino della quale scorre BD. Per ottenere la misura dell'angolo α, la verga BD era divisa in un certo numero di parti uguali, e dal rapporto delle parti segnate in C con quelle di AB si calcolava l'angolo. Copernico († 1543) per esempio, divideva AB, in 1000 parti uguali,(2) sulla BD poi notava, cominciando da B, 1414 di queste parti; imperocchè supponendo $\alpha = 90°$, BD prende la posizione BC'.

Sarà poi $\overline{BC'}^2 = \overline{AB}^2 + \overline{AC'}^2 = 2\overline{AB}^2 = 2 \cdot 1000^2 = 2000000$;

$$BC = \sqrt{2\,000\,000} = 1414.$$

Insomma la variabile BC era sempre la corda (di un circolo di raggio AB) corrispondente all'angolo α; tavole delle corde rispettive già calcolate facilitavano la ricerca dell'angolo.

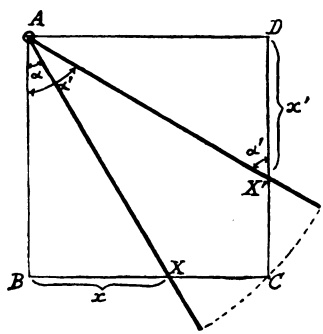


Fig. 76.

All' orientazione dello strumento serviva un filo a piombo AF; la linea visuale di una stella S era determinata per mezzo di due pinnule P P' con traguardi, fissate sopra la verga AC. Trovato α si conosce immediatamente (essendo $\sphericalangle SAZ = \alpha$) la distanza zenitale, ossia la coaltezza della stella S.

137. — Il Quadrato geometrico (Fig. 76), inventato più tardi, è fondato sopra simili principii. Due lati BC (*latus rectus*) e DC (*latus versus*) d'un Quadrato ABCD sono divisi in 12 parti uguali, ciascuna

(2) Copernico misurò col triquetro, fatto da se stesso, la latitudine di Frauenburg con una precisione, a quei tempi inaudita, di 3'.

Tycho Brahe, che ereditò questo strumento, ne parla così:

His levibus baculis, facili licet arte paratis
Agressus (Cop.) toti leges praescribere Olympo.
. . . . . .
O tanti monumenta viri! Sint lignea quamvis
His tamen invideat fulveum si nosceret aurum.

Vedi il nostro libro: Niccolò Copernico, fondatore dell'astronomia moderna, trad. it. del p. P. Mezzetti S. I. Roma, 1902, Desclée, Lefebvre e C., pag. 60.

Digitized by Google

parte in 10 divisioni, ogni divisione in 10 suddivisioni, cosicchè di queste se ne contano 1200. Lo zero delle divisioni si trova in B e D.

Se l'angolo (α) da misurarsi per mezzo del regolo mobile AX è minore di 45°, p. es. $\alpha = \sphericalangle BAX$ abbracciando x divisioni di BC, sarà

$$\text{tang } \alpha = \frac{BX}{AB} = \frac{x}{1200}.$$

Se l'angolo (α') è maggiore di 45°, p. es. $\sphericalangle \alpha' = \sphericalangle BAX' = \sphericalangle AX'D$, segnando sopra DC un numero x' di divisioni, avremo

$$\text{tang } \alpha' = \frac{AD}{DX'} = \frac{1200}{x'}.$$

Tavole apposite facilitavano il calcolo degli angoli rispettivi.[1]

138. — Raggio astronomico (Radius astronomicus)[2] chiamasi un altro strumento (Fig. 77) molto in uso presso gli

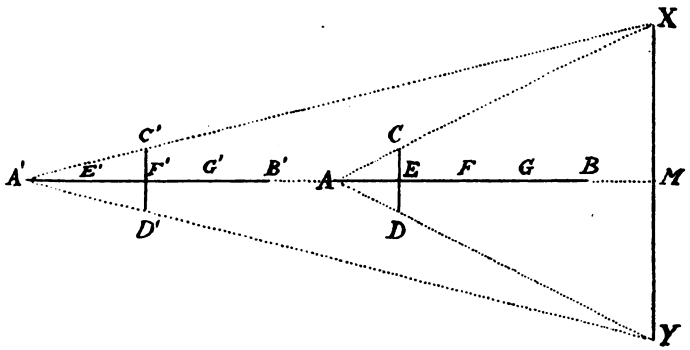


Fig. 77.

antichi. Esso si compone di un' asta o regolo AB e d' una verga *traversa* CD, traforata nel mezzo e scorrevole lungo AB.

Il regolo porta delle divisioni («stazioni») in E, F, G, fatte in maniera tale, che le singole parti [AE = EF = FG =

(1) Cf. Regiomontani (Io. Müller † 1476) tabula foecunda.

(2) Altri nomi, dati allo stesso strumento, sono: Balestriglia, Baculus Iacob, Croce astron. (ingl. Cross-Staff).

Digitized by Google

$= GB$] siano uguali alla traversa CD. In A, C e D erano i soliti traguardi (Diottre),(1) per fissare le linee visuali di due astri X, Y, delle quali, essendo *tang* $CAE = CE : AE$, si determinava facilmente la distanza angolare $\measuredangle XAY = \measuredangle CAD = 2 \measuredangle CAE$.

Per oggetti terrestri, rispetto ai quali l'osservatore poteva allontanarsi o avvicinarsi a piacimento, le divisioni principali potevano bastare; anzi la **Balestriglia** (come pure chiamavasi lo strumento) forniva un mezzo assai spedito, per determinare anche la *distanza lineare di due punti inaccessibili* X ed Y.

Infatti chiamiamo x l'intervallo da una « stazione » all'altra, cioè $x = CD = AE = EF$, ecc. avendo fissato la traversa in una divisione principale, per esempio in E, l'osservatore si avvicina ovvero si allontana in direzione $MA \perp XY$, finchè i due punti X ed Y si vedono lungo le visuali AC ed AD; si nota sul piano sottostante per mezzo del perpendicolo il punto corrispondente ad A.

Fatto questo, l'osservatore fissando la traversa nella stazione seguente F, rispettivamente F', si allontana nella medesima direzione MA, finchè i punti X e Y appariscono lungo le visuale A'C' ed A'D', qui si nota di nuovo il punto, nel piano sottostante, corrispondente ad A'. Ora si misura senza difficoltà la distanza lineare di A da A', ossia la lunghezza AA', la quale sarà uguale ad $XY = a$.

Poichè:

$$\triangle XAY \backsim \triangle CAD \; ; \; a : x = AM : x \; ; \; AM = a = XY$$
$$\triangle XA'Y \backsim \triangle C'A'D' ; \; a : x = A'M : 2x \; ; \; A'M = 2a$$

Dunque:

$$A'M - AM = A'A = 2a - a = a.$$

Se invece delle due visuali AC e AD, si prendono AC ed AM, il **Bastone di Giacobbe** (nome volgare del raggio astronomico) serve ugualmente bene per misurare l'altezza d'una torre e l'altezza delle Stelle sull'orizzonte. Per queste ultime osservazioni le Stazioni aveano le loro suddivisioni; il risultato si otteneva allora per mezzo del calcolo ovvero di tavole calcolate appositamente.

Servendosi dell'ombra di CE sopra EA, proiettata da un punto luminoso X (il Sole), si avrebbe un **Gnomone** modificato, del quale antichissimo apparato di misure celesti basti quello che fu detto nella parte precedente (n. 88 sgg.).

(1) Διόπτρα (lat. perspicillum). Questi Traguardi, che erano o semplici forellini, ovvero finestrini con un crocicchio di fili, servivano a collimare (collineare) la linea visuale colla linea di fiducia.

Digitized by Google

Art. II. — Strumenti con Circoli graduati.

139. — **Goniometro**[1] (Fig. 78) chiamasi un cerchio diviso in gradi, concentricamente al quale gira un regolo (Alidada[2] o Linda), che colla sua linea di fiducia AB indica i gradi rispettivi. Collocato lo strumento nel piano, che due punti da misurarsi formano coll'occhio dell'osservatore, si collima la linda prima coll'uno, poi, senza spostare il cerchio, coll'altro oggetto, leggendo i numeri corrispondenti della divisione, la differenza dei quali dà l'angolo cercato.

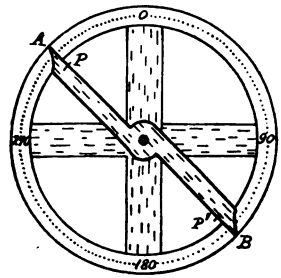


Fig. 78.

140. — Simili strumenti, chiamati **Grafometri**, servono ancora oggidì alla misura di angoli, specialmente nel piano orizzontale, quando non si cerca una precisione squisita. I geometri ed agrimensori si servono anche del cosidetto **Squadro cilindrico** (o sferico),[3] sul quale (Fig. 79) i traguardi sono disposti ad angoli retti, dimodochè quando un osservatore pone l'occhio, ora ad uno, ora ad un altro, le due visuali s'incrociano nello strumento sotto un angolo di 90°. Di più, se la parte superiore del cilindro (come vedesi nella nostra figura) è girevole intorno all'asse verticale ed un indice, girante con essa, indica sulla parte inferiore il numero dei gradi percorsi, si può misurare un angolo (orizzontale) qualunque. Perciò lo Squadro così modificato suol anche chiamarsi **Pantometro.**[4]

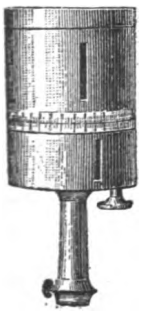


Fig. 79.

141. — Siccome l'altezza d'una stella, misurata nel piano verticale, non supera mai un angolo retto, un semplice **Quadrante** graduato CAD (Fig. 80) munito di un filo a

(1) Γωνία angolo.

(2) Parola araba che significa regolo. In P e P' trovansi due pinnule con traguardi.

(3) Un semplice bastone (una canna) serve di sostegno, donde i Francesi lo chiamano semplicemente «pomme de canne».

(4) Πᾶς genit. παντὸς tutto.

Digitized by Google

piombo CB, può servire a determinarla. Il filo fa le veci dell'alidada. L'osservatore, tenendo il piano del quadrante verticalmente, cioè parallelo a CB, guarda la stella S da misurarsi nella direzione di AC, sulla quale presso A e C sono fissati i soliti traguardi, l'angolo ACB sarà uguale all'angolo SCZ, il quale indica la distanza zenitale, ossia la coaltezza della stella.

Quanto è più grande il raggio del circolo graduato, tanto più facilmente si divide il lembo di questo non soltanto in gradi, ma anche in frazioni minutissime di grado. Donde si capisce la ragione, perchè fino all'invenzione del telescopio i cosifatti strumenti goniometrici furono costruiti in dimensioni semplicemente colossali. Fissati sopra un muro fisso – onde ebbero il nome di **Quadranti murali** – essi servirono specialmente a misurare la massima altezza delle stelle al momento della loro culminazione nel piano del Meridiano. La figura 81, riprodotta da un'opera di Ticone Brahe [1] († 1601) ne mostra uno dei campioni più celebri, anzi in essa vediamo rappresentato tutto l'insieme d'un osservatorio astronomico prima dell'invenzione del telescopio.

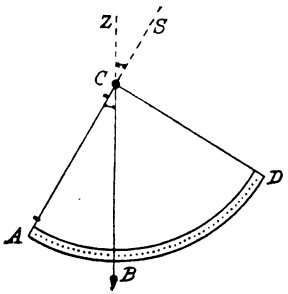


Fig. 80.

142. — Il Quadrante di Davis († 1605) era diviso in due settori (Fig. 82) AB e DE con raggi diversi. Diottre mobili sulla circonferenza servivano, l'uno O, per collimare diretta-

(1) « Astronomiae instauratae Mechanica », Norimbergae 1602. Il Quadrante di Ticone avea un raggio di circa sette metri. Ordinariamente tre osservatori erano necessari per le osservazioni: mentre Ticone (seduto nel mezzo del quadro) dà i suoi ordini, l'assistente (F) aspetta al traguardo E il passaggio di una stella, la quale deve attraversare l'apertura nel muro a sinistra ad un'altezza di circa 24°. Un secondo assistente (H) colla candela in mano sta pronto all'orologio, per notare il momento del passaggio. Un terzo (G) scrive le notizie comunicategli dagli altri. Negli archi del fondo si vedono un Quadrato geometrico (1), una sfera armillare (2), un triquetro (3), un Ottante (4) mobile (ottava parte del circolo simile al quadrante). Vi sono pure due Globi, uno celeste e l'altro terrestre; nel sotterraneo si vede un laboratorio chimico. Calcolatori, osservatori, e studenti danno vita a tutto il quadro.

Digitized by Google

mente l'orizzonte (marino) attraverso un forellino praticato in un piccolo piano sul centro C, l'altro S si accomodava sul

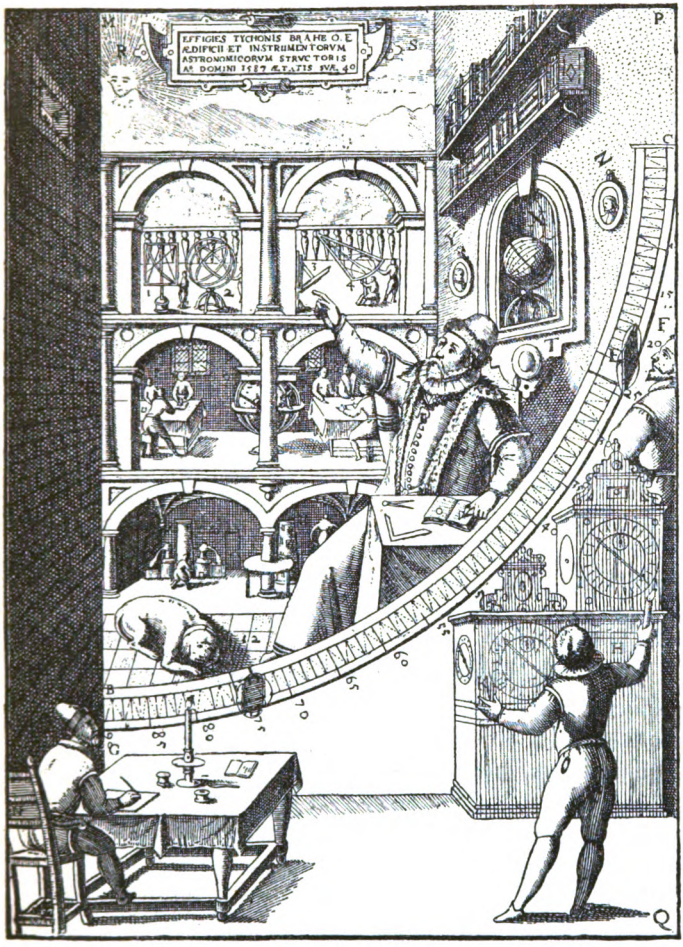


Fig. 81.

cerchio minore in tal modo, che i raggi del Sole attraversando S, proiettavano in C una piccola immagine di esso.

L'angolo $DCO + DCS$, ossia $\alpha + \beta$, dava l'altezza del Sole. L'osservatore, voltando le spalle al Sole e tenendo lo

Digitized by Google

strumento verticalmente poteva, a cagione della circonferenza minore di D E, più facilmente vedere la pinnula S e maneggiare la medesima. Lo strumento rimase in uso presso i navigatori fino all'invenzione del *Sestante*, che descriveremo più sotto.

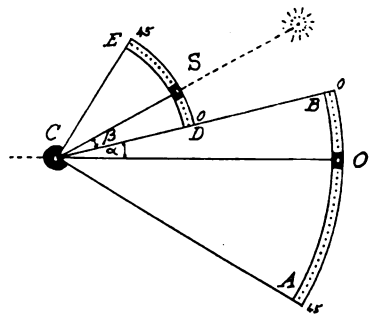


Fig. 82.

143. — Più complicati erano gli strumenti goniometrici, che servivano alla determinazione delle Coordinate eclitticali ovvero equatoriali delle stelle: l'Astrolabio ed il Torqueto.

L' Astrolabio[1] (Figura 83), usato già da Ipparco (sec. II a. C.) e descritto da Tolemeo nel suo *Almagesto* (lib. 5, c. 1), consisteva in varie armille girevoli intorno a due assi, dei quali uno C A poteva mettersi in coincidenza coll'asse del mondo, l'altro I K con quello dell'eclittica. Un filo a piombo P A serviva per l'orientazione dello strumento. Nella nostra figura, che ricorda l'astrolabio di Tycho Brahe,[2] il cerchio E P C rappresenta il meridiano; quindi ∢ C A P la coaltezza del polo (ossia il complemento della latitudine geografica). C F rappresenta il coluro solstiziale (n. 47), sul quale si trova il polo I dell'eclittica. Conoscendo l'angolo orario del detto polo I, si metteva il circolo eclitticale in coincidenza coll'Eclittica celeste; poi si girava il cerchio L E (di latitudine) in maniera, che passava per la stella da misurarsi. Mirando ad essa per il traguardo A, fisso nel

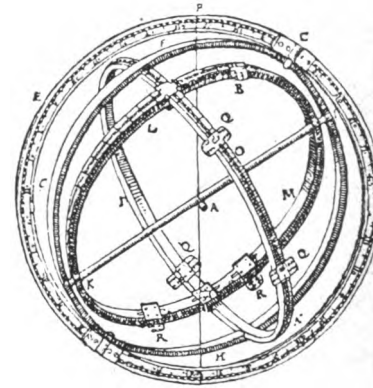


Fig. 83.

(1) Ἀστρόλαβον da λαμβάνω prendo (la misura).
(2) « Astronomiae instauratae Mechanica ».

Digitized by Google

centro, e per l'altro E (mobile sopra il circolo di latitudine), si potevano senz'altro leggere sui circoli graduati le coordinate eclitticali della stella.

144. — Il **Torqueto** (Fig. 84) inventato dal Regiomontano, era una modificazione dell'Astrolabio in questo senso, che i varii circoli erano disposti uno fuori dell'altro, la qual cosa rendeva l'uso molto più semplice e spedito.

Un piedistallo con base orizzontale H H′ porta un piano H I parallelo all'Equatore, sul quale si trova il circolo graduato equatoriale E Q; l'angolo H I H′ = φ, complemento dell'angolo I H H′, rappresenta l'altezza del polo, ossia la latitudine geografica. Nel centro del cerchio equatoriale intorno all'asse A A′ gira il cilindro troncato E Q L C, il piano superiore C L I fa con quello H I un angolo C I H = *i*, uguale all'inclinazione dell'Eclittica rispetto all'Equatore. Nel centro O dell'armilla eclitticale C L si alza perpendicolarmente sul piano della medesima l'armilla O O′, che rappresenta il circolo di latitudine, col suo piano girevole intorno alla linea O O′ (asse dell'Eclittica). Nel suo centro X gira l'alidada coi soliti traguardi.

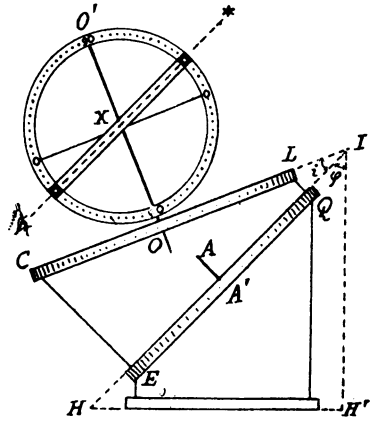


Fig. 84.

In questo apparato del MÜLLER vediamo il precursore dei nostri strumenti moderni montati parallatticamente. Imperocchè sopprimendo la parte C L Q E e mettendo l'asse O O′ in coincidenza con A A′, si ottiene un Equatoriale perfetto, cioè un apparato di maggiore stabilità, per mezzo del quale si misurano immediatamente le coordinate equatoriali, che poi per mezzo del calcolo si trasformano, se ciò sia necessario, in coordinate eclitticali.

Digitized by Google

CAPITOLO II.

STRUMENTI AUSILIARI (ANTICHI E MODERNI).

ART. I. — IL NONIO O VERNIERO.

145. — Le misure degli antichi astronomi a cagione delle *suddivisioni limitate*, sui regoli o circoli, erano sempre imperfette. Una precisione di circa 10′ era il massimo, che poteva ottenersi nella collimazione degli angoli. Qualche ulteriore perfezionamento, che permetteva di spingere l'esattezza fino a 4′, si ottenne coll'ingrandimento dei circoli graduati, il maneggio dei quali era però molto incomodo.

Si cercò quindi di valutare le frazioni delle ultime divisioni per mezzo di piccoli apparati ausiliari, dei quali il **Nonio** o **Verniero** [1] è rimasto in uso fino ai tempi nostri. Senza entrare qui nella descrizione dello sviluppo storico dello strumento, diamo subito la forma ultima più perfezionata (Fig. 85).

(1) Pedro Nuñez (lat. Nonius), † 1577, cosmografo portoghese, pubblicò un primo abbozzo dello strumento nel suo trattato latino De crepusculis (1542). Alcuni autori danno una interpretazione erronea del nome dello strumento, credendo che questo sia derivato dalla circostanza, che ordinariamente alla parte nona della scala da dividersi corrisponde la decima dell'apparecchio.

Pietro Werner (lat. Vernierus, franc. Vernier, † in Ornaus 1637) pubblicò nel 1631 in Brusselles un trattato: « La construction, l'usage et les propriétés du quadrant nouveau des mathématiques », perfezionando l'idea del Nuñez.

Il P. Klau (lat. Clavius d. C. d. G., † 1612) aveva però già nel 1606, nella sua Geometria practica adoperato simili perfezionamenti. Si potrebbe quindi (e forse con maggior diritto), chiamare Clavio il nostro strumentino.

Il sistema del Nuñez era ancora così complicato, che l'eminente astronomo danese Tycho Brahe l'abbandonò, ritornando al sistema più antico delle Transversali, nel quale una linea diagonale di un rettangolo della lunghezza 10 e della larghezza 1, stacca dalle linee traversali, parallele ai lati e corrispondenti alle singole divisioni, altrettanti decimi: $\frac{1}{10}$ della I, $\frac{2}{10}$ della II, ecc.

Digitized by Google

Sia dunque R R′ un regolo qualunque diviso in parti uguali, ciascuna $= a$; volendo suddividere le singole divisioni in n (supponiamo 4) parti uguali, si fa scorrere, in fronte alle divisioni principali, un secondo piccolo regolo A B, diviso in n (nella nostra figura in 4) parti,[1] ciascuna $= b$, che corrispondono a $n - 1$ parti di R R′.

Avremo quindi nell'esempio nostro:

$$4\,b = 3\,a \;\; ; \;\; b = \frac{3}{4}\,a = a - \frac{1}{4}\,a \; ;$$

ovvero generalmente

$$n\,b = [n-1]\,a \;\; ; \;\; b = \frac{n-1}{n}\,a = a - \frac{1}{n}\,a \; .$$

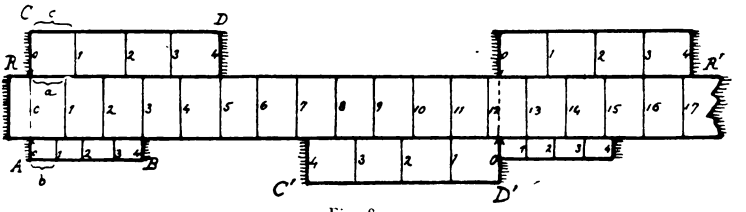


Fig. 85.

Da ciò segue, se lo zero (0) di A B coincide con un numero intero (0) di R R′, la sua divisione 1 dista dalla seguente (1) di R R′ $\frac{1}{n}$ $\left(= \frac{1}{4}\right) a$; il suo 2 dal seguente (2) della quantità $\frac{2}{n}$ $\left(= \frac{2}{4} = \frac{1}{2}\right) a$; il 3 di A B dal seguente (3) di $\frac{3}{n}$ $\left(= \frac{3}{4}\right) a$; il suo n (ossia 4) coinciderà con un numero intero (3) di R R′.

Se ci serviamo dunque dello 0 del Nonio come indice, mettendolo p. es. tra il 12 e 13, cosicchè il suo 1 coincide con una divisione (13) di R R′, esso segnerà $12\frac{1}{4}$; se il

(1) Abbiamo scelto un numero piccolo (4) per rendere la cosa più sensibile; più comunemente si cerca una divisione decimale; allora basta mettere nella formola $n = 10$.

Digitized by Google

suo 2 coincidesse con un numero intero (14) avremmo $12\frac{2}{4} = 12\frac{1}{2}$; se il 3 con 15, l'indice stando $\frac{3}{4}$ lontano da 12, indicherebbe $12\frac{3}{4}$.

Dunque praticamente parlando si osservano prima i numeri principali della divisione, tra i quali si trova l'indice: ciò ci dà il numero intero; per avere la frazione corrispondente, basta vedere quale sia il primo numero (x) del Nonio, che coincide con una divisione del regolo principale; perchè allora al dato numero intero abbiamo da aggiungere la frazione $x : n$.

146. — Il Nonio (Verniero) spiegato (AB) è il tipo ordinariamente adoperato. Esso viene chiamato **Nonio diretto**, per distinguerlo da un altro CD, detto **sottrattivo** o **retrogrado**, diviso in n parti uguali, alle quali corrispondono $n + 1$ parti di RR'.

Chiamiamo c una di queste parti del Nonio, allora avremo (supposto $n = 4$):

$$4c = 5a \; ; \; c = \frac{5}{4}a = a + \frac{1}{4}a ;$$

ovvero generalmente

$$nc = (n+1)a \; ; \; c = \frac{n+1}{n}a = a + \frac{1}{n}a .$$

Il Nonio diventa allora sottrattivo; se p. es. (come vedesi nella figura) facciamo coincidere il 3 di CD col 16 di RR', l'indice (o) si troverà come disopra tra 12 e 13, ma $\frac{3}{4}$ distante dal 13, quindi si dovrebbe leggere $13 - \frac{3}{4} = 12\frac{1}{4}$.

Per evitare questo inconveniente della *sottrazione*, si suol dare al Nonio la forma C'D', poco diversa dalla prima, contando le divisioni in direzione *retrograda*, cioè opposta a quella della scala principale. Ora (ritenendo lo stesso caso di prima) il num. 1 coincide con un numero intero (11) della scala prin-

Digitized by Google

cipale: si legge quindi immediatamente la divisione indicata di $12\frac{1}{4}$ come sopra.

147. — Quello che è stato detto rispetto alla suddivisione d'un regolo dritto, facilmente si applica ai **circoli graduati.** In essi il cerchio principale ordinariamente si trova già diviso in mezzigradi ($a = 30'$); dividendo quindi il Nonio applicato all'estremità dell'alidada in maniera tale, che a 29 di queste divisioni (ossia $14\frac{1}{2}°$) corrispondano 30 sue divisioni, potremo leggere i *singoli minuti.*

Cerchi più grandi sogliono avere una divisione diretta anche più minuta, per esempio, di 5′ in 5′. Un Nonio con 60 divisioni, corrispondenti a 59 della scala principale, renderà possibile la lettura di 5″. In cotali casi, invece di indicare le divisioni del Nonio coi numeri 1, 2, 3 ... 12, si segna anche semplicemente 5″, 10″, 15″ ... 1′. Tutto il resto si capisce facilmente dall'ispezione dei singoli strumenti.

Art. II. — Vite di richiamo e Vite micrometrica.

148. — Per portare l'alidada d'un circolo graduato con grande precisione sopra il punto dovuto, serve l'apparatino (Fig. 86) connesso coll'estremità dell'alidada A, e scorrevole con essa lungo il circolo graduato L. Avendo col *movimento ordinario* posta l'alidada vicino al punto in quistione, si gira la **Vite di pressione** V′, la quale chiudendo una morsetta, fissa il telarino esterno T T′ sul lembo graduato L. I *movimenti piccoli*, ancora da farsi, si eseguiscono colla **Vite di richiamo** V.[1] Questa si trova infilzata nel telarino esterno in modo tale che, girandola nell'uno o nell'altro senso, sposta il telarino interno insieme colla testa dell'alidada (munita di nonio).

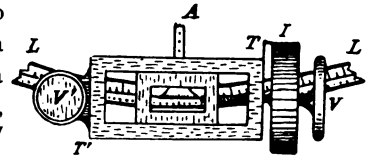


Fig. 86.

149. — Quanto è più fino il passo della vite V, tanto saranno più piccoli i movimenti stessi di A: se per es. allo spo-

(1) Altri dicono Vite a scrupolo ovvero Vite a rimando.

Digitized by Google

stamento di A di 1′ corrisponde un giro intero della vite, a $\frac{1}{60}$ di tal giro corrisponderà per A lo spostamento di $\frac{1'}{60}$ ossia 1″. Così la vite stessa, fatta con tutte le cautele necessarie, può servire come **Vite micrometrica.**[1] Per conoscere le frazioni di una divisione basta aggiungere alla testa ordinaria di V (un circolo graduato, le divisioni del quale vengono indicate da un indice I, montato sul telarino T.

Infatti la Vite micrometrica si adopera separatamente, per misurare piccolissimi intervalli. I due telarini sogliono allora essere muniti di fili sottilissimi: uno fisso all'esterno l'altro scorrevole col telarino interno. Quando l'indice del micrometro sta sullo 0, i due fili si coprono; girando la Vite micrometrica il filo mobile si scosta dal filo fisso: l'indice fa conoscere sul circolo graduato della Vite la misura della distanza.[2]

Art. III. — La Livella.

150. — L'unica direzione, da accertarsi facilmente ed in breve tempo, nelle misure astrometriche, è quella della Verticale, indicata dal Filo a piombo (chiamato anche semplicemente *Piombo* o *Piombino*), che indica sulla Sfera celeste i due punti Zenit e Nadir.

Più comoda e più facilmente adattabile agli strumenti astronomici è la **Livella a bolla d'aria.**[3] Per vedere meglio il nesso che esiste tra l'uno e l'altro, consideriamo (Fig. 87) il circolo graduato H B H′; nel centro O sia sospeso il Piombino O P, V V′ dovrebbe stare verticale, A A′ orizzontale; O P fa conoscere l'angolo V O P $= \measuredangle i$, ossia l'*inclinazione* di V V′ rispetto alla perpendicolare vera O P e quindi anche

(1) Μικρός (piccolo).

(2) Per maggiore precisione si suole aggiungere un microscopio. In pratica bisogna però tener conto dei vari errori che possono avere luogo, sia perchè la vite è difettosa, sia per il passo morto della medesima, sia per spostamenti dovuti ai cambiamenti di temperatura, ecc., altrimenti si avrà una precisione illusoria.

(3) Il nome viene dal latino Libella, diminutivo di Libra (bilancia); nel tedesco c'è ancora la parola Bilancia ad acqua (Wasserwage) oltre quella di «Libelle».

Digitized by Google

$\measuredangle$ A O H, ossia l'inclinazione di A A′ relativamente all'orizzonte vero H H′.

Ora immaginiamo, che il circolo rappresenti la sezione di un globo pieno d'acqua fino al livello B B′, allora sarà B B′ $\perp$ P P′; il punto centrale P′ della bolla d'aria B P′ B′ segnerà la direzione del perpendicolo P′ P $\perp$ B B′; l'arco P′ V′ misura (essendo $\measuredangle$ P′ O V′ = $\measuredangle$ P O V = $\measuredangle$ *i*) l'inclinazione di V V′ alla vera verticale P′ P, oppure l'inclinazione di A A′ rispetto alla vera orizzontale H H′, ossia B B′.

151. — Potremo dunque invece del piombino adoperare un vaso di forma emisferica H P′ H′ [ovvero della forma di una calotta sferica B P′ B′], parzialmente empito di acqua.

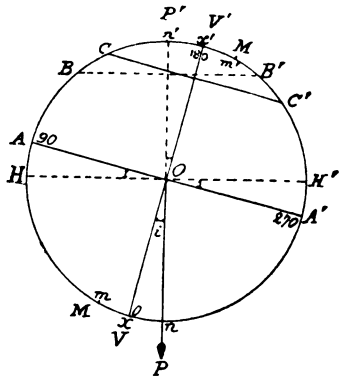


Fig. 87.

Se un tale vaso colla sua base piana H H′ o B B′ viene collocato sopra una superficie qualunque, creduta orizzontale, una deviazione del centro della bolla da P′ indica subito il difetto di orizzontalità, e se la calotta è graduata in giusto rapporto col suo raggio di curvatura, si possono sapere immediatamente i gradi, minuti e secondi della deviazione. Tali **Livellette a scatola** (a forma di calotta) veramente esistono; noi l'abbiamo descritte, per far meglio intendere le varie funzioni della Livella ordinaria. Lo zero della graduazione del circolo può trovarsi in un punto qualunque. Per valutare in tal caso l'inclinazione di una linea V V′ (asse supposto più o meno verticale d'uno strumento) si ricorre al cosidetto *Metodo di rovesciamento*; questo ci fa conoscere la distanza angolare di P da V, ossia l'angolo di inclinazione V O P = V′ O P′ = $\measuredangle$ *i*.

152. — Il perpendicolo O P indichi sul lembo graduato (il cui piano sia già verticale) un numero (di gradi) n, la sommità della bolla d'aria in P′ un altro n' (= 180° + n). Facciamo V M = V P e V′ M′ = V′ P′, in M si trovi il numero m, in M′ si trovi m' (= 180° + m). Girando l'apparato di

Digitized by Google

180° intorno a V V′ (asse dello strumento supposto verticale), il piombino resta invariato nella direzione P P′, ma ora i punti M e M′ coi rispettivi numeri m ed m' si sono messi in contatto con P e P′ e quindi vengono indicati da P e P′. Si conosce quindi m e n (rispettivamente m' e n'), donde si ricava:

$$\measuredangle i = \frac{m - n}{2} = \frac{m' - n'}{2}$$

Se si vuol sapere il numero x ovvero x' della graduazione dove sta V V′, avremo

$$x = \frac{m + n}{2} \; ; \quad x' = \frac{m' + n'}{2}$$

Girando dunque per mezzo di una vite l'apparato intorno ad O della quantità i, cosicchè A venga a coincidere con H, A′ con H′, V V′ verrà a coincidere col perpendicolo P P′; P P′ segnerà poi sul lembo i numeri x, x'; l'apparato sarà aggiustato, cioè V V′ sarà una vera verticale, A A′ una vera orizzontale.

153. — La teoria e pratica della Livella a bolla d'aria si riduce così perfettamente a quella del Piombino; la Livella però ha molti vantaggi sopra quest'ultimo. Per rendere ad esempio il filo a piombo molto sensibile, fa d'uopo che sia molto lungo; allora soltanto gli archi corrispondenti alla deviazione i saranno ben grandi, e ben divisibili in frazioni piccolissime. Nella Livella invece il raggio di curvatura può essere molto grande anche centinaia di metri senza ingrandimento della forma esterna dello strumento.

Si conserva cioè del circolo grande soltanto un piccolo segmento (Fig. 88). Un piccolo vaso cilindrico di vetro leggermente curvato sta rinchiuso in un altro di metallo, cosicchè soltanto la parte superiore del vetro colla graduazione resta visibile. La parte interna superiore del vetro deve essere lavorata in modo tale che abbia una *curvatura perfettamente circolare*.[1] Allora soltanto la bolla, non occupata dal liquido

(1) La grande difficoltà di levigare il tubo internamente in questo modo ha non poco ritardato l'uso dello strumento dopo l'invenzione teorica.

Digitized by Google

(alcool od etere) scorre liberamente e regolarmente di qua o di là, secondochè si alza il piano sottostante in B ovvero in B′.

154. — Le livelle, che servono a livellare un piano orizzontale B B′, sogliono essere montate per mezzo di due sostegni sopra una lastra ben levigata A A′.(1) Se il punto di mezzo (*c*) della graduazione coincide col centro della bolla, o meglio se gli estremi (*a* e *b*) della bolla si trovano tra le linee (*di fiducia*) equidistanti da *c*, la lastra A A′ (col suo piano inferiore) dovrebbe essere orizzontale almeno nella direzione di A A′; un perpendicolo *c n* dovrebbe formare un angolo retto con A A′. Se quest'ultimo non fosse il caso, sarebbe segno che i piedi del sostegno P e P′ sono disuguali. Per conoscere un tal errore della Livella, basta rovesciarla, cioè sullo stesso piano B B′ collocarla col piede P verso B′ e con P′ verso B. Se tanto nella prima, quanto nella seconda posizione, il centro della bolla trovasi allo stesso posto, sia in *c* o in un altro punto qualunque, il piano B B′ è certamente orizzontale; poichè un perpendicolo condotto per esso sul piano B B′ sarà veramente normale ad esso. Se invece il centro della bolla cambia il suo posto, si trova per esempio nella prima posizione in $a = 4$, nella seconda in $b = 6$, secondo il detto al n. 152 il piano sarà livellato, se abbassandolo dalla parte di A, si fa coincidere il centro con $\frac{a+b}{2}$ ossia $\frac{4+6}{2} = 5$ cioè con *c*.

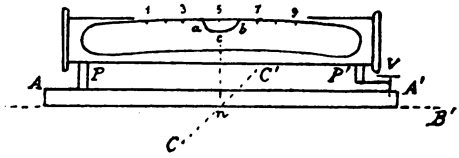


Fig. 88.

155. — Se il centro tanto nella prima quanto nella seconda posizione si trovasse non in *c*, ma per esempio in *a*, questo sarebbe un segno che *i piedi sono disuguali*, cioè P più lungo di P′; questa *disugualianza* si corregge per mezzo della vite V.

Supponendo allo stesso tempo la disuguaglianza dei piedi e una mancanza di orizzontalità nel piano sottostante B B′,

(1) Le Livelle, che servono ad aggiustare gli strumenti astronomici, sono munite di soli piedi da poggiarsi senz'altro sopra i perni d'un asse orizzontale.

Digitized by Google

col metodo del rovesciamento si elimina uno e l'altro. Infatti, se il centro prima a cagione dei piedi disuguali fosse in $a = 4$, a cagione del sollevamento della parte di A del piano B B′ si troverebbe in 3; nella seconda posizione per la prima ragione sarebbe in a per l'altra in 5, dunque per livellare B B′ bisogna mettere il centro in $\frac{3+5}{2} = 4$, abbassandolo di un grado della divisione come sopra (benchè questo 4 non sia la divisione di mezzo). Se si vuole il centro nel mezzo sul n. 5, in altre parole se si vuole *rettificare la Livella*, questo bisogna farlo accorciando il piede P′. Affinchè un piano sia orizzontale, non basta livellarlo in una direzione sola B B′; perchè girando il piano intorno a questa linea (come asse), la B B′ rimarrebbe bensì orizzontale, ma una linea C C′, perpendicolare a B B′, benchè situata nello stesso piano, potrebbe avere un'inclinazione qualunque verso l'orizzonte. Perciò si suole livellare un piano nelle due direzioni B B′ e C C′ per mezzo di tre apposite viti, disposte in queste direzioni.[1] Così pure una linea che sta perpendicolare sul piano (un asse verticale), passerà veramente per lo Zenit, e sarà *vera Verticale* coincidente col Piombino.

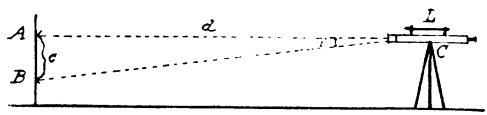


Fig. 89.

156. — Le graduazioni, incise sulla parte esterna delle livelle, non sogliono sempre esprimere esattamente (in °, ′, ″) l'angolo corrispondente di inclinazione dello strumento. Per valutare quest'angolo di inclinazione, relativamente ad un intervallo della divisione fatta, vi sono due metodi: uno sperimentale, l'altro piuttosto teoretico.

1. Sopra un treppiede (Fig. 89) si colloca un cannocchiale, girevole intorno ad un asse orizzontale C, diretto verso un'asta graduata, collocata alla distanza A C = d. Sul cannocchiale si mette la livella L, e si gira leggermente il cannoc-

(1) Per ciò tutti gli strumenti goniometrici stabili posano sopra tre piedi muniti di viti, poichè tre punti giacciono sempre in un medesimo piano.

Digitized by Google

chiale nel piano verticale, finchè il centro della bolla coincida con una divisione intera della graduazione. Si legge poi per mezzo del cannocchiale la divisione A indicata sull'asta.[1] Fatto ciò, si gira il telescopio un altro poco, finchè la bolla sia passata da una divisione all'altra; si legge poi la divisione corrispondente B dell'asta lontana. Così del triangolo rettangolo C A B si conoscono i due cateti; quindi, essendo tang $i = A B : A C$; si ricava il valore di $\measuredangle i$.

2. Se si conosce il raggio di curvatura r della livella, si calcola facilmente la lunghezza lineare di un arco di 1″; poichè

$$1^\circ = \frac{2 r \pi}{360}; \quad 1' = \frac{2 r \pi}{360.60}; \quad 1'' = \frac{2 r \pi}{360.60^2}$$

Cioè $$1'' = \frac{\pi}{180.60^2} \cdot r = \frac{\pi}{648000} \cdot r$$

Se dunque con α indichiamo un arco, corrispondente ad 1″, avremo le due equazioni

$$\pi r : \alpha = 648000'' : 1''$$

mettendo per π il suo valore $\pi = 3.1415926536$ si ricava

$$\alpha = 0.000004848\, r \qquad (1)$$
$$r = 206265\, \alpha \qquad (2)$$

la (1) ci dà lo spostamento della bolla corrispondente a 1″ in unità del raggio di curvatura, la (2) indica la lunghezza del raggio richiesto per un dato spostamento della bolla.[2]

Si domanda, per esempio, quale debba essere il raggio (r) di curvatura (dell'arco direttore), affinchè lo spostamento di un millimetro corrisponda all'inclinazione di 1″.

(1) Un teodolite (n. 200) con circolo verticale permette la lettura immediata dell'angolo.

(2) Il coefficiente $0.000004848 = \frac{1}{206265}$ si adopera sempre, quando Secondi di arco vogliono esprimersi in parti del raggio; il coefficiente 206 265 viceversa, quando un arco espresso in parti del raggio vorrebbe esprimersi in Secondi.

Digitized by Google

Essendo $\alpha = \frac{r}{206265}$; affinchè sia $\alpha = 1$ millimetro basterà fare $r = 206265$ mm. $= 206{,}265$ metri.

157. — **La sensibilità** della Livella consiste nella facilità, colla quale la bolla abbandona il posto occupato, per mettersi al punto culminante nuovo, prodotto da uno spostamento lievissimo del livello. La sensibilità in parte dipende dalla *grandezza della bolla* stessa: se questa è troppo piccola, facilmente aderisce alle pareti del vetro (effetto di capillarità);[1] in parte dipende dal *raggio di curvatura*. Quanto questo è più grande, tanto maggiore sarà la porzione di arco che si avvicina ad una linea retta pochissimo inclinata, e tanto più difficilmente la bolla scorre. Dipende finalmente dalla *densità* del liquido adoperato. I liquidi meno densi come l'alcool (0.79) e l'etere (0.74) offrono poca resistenza al moto libero della bolla, perciò vengono ordinariamente adoperati nelle Livelle di maggior precisione. La bolla allora non è una *bolla d'aria* atmosferica, ma piuttosto viene formata (artificialmente) dai vapori del liquido rispettivo.

A cagione dell'importanza che ha la livella in quasi tutte le operazioni astrometriche, abbiamo creduto bene di svolgere la teoria un poco più distesamente in quest'articolo; qualche difficoltà ancora rimanente si scioglierà facilmente coll'uso pratico dei vari strumenti.

CAPITOLO III.

STRUMENTI GONIOMETRICI PIÙ RECENTI.

ART. I. — IL SESTANTE.[2]

158. — La teoria di questo strumento goniometrico è fondata sul principio della riflessione della luce, secondo il

(1) Si costruiscono ora delle Livelle, nelle quali per mezzo di uno « spazio riservato » si può imprigionare o liberare una parte della bolla e così impiccolirla od ingrandirla a piacimento.

(2) Come primo inventore del Sestante deve considerarsi il celebre Newton, il quale comunicò la sua invenzione alla Società reale (Royal

Digitized by Google

quale l'angolo di incidenza (Fig. 90) di un raggio luminoso R S è uguale all'angolo di riflessione [$\sphericalangle$ R S O = $\sphericalangle$ O S S′ = γ]. Di più, se un raggio, due volte riflesso per mezzo di due specchi S e S′, rimanendo nello stesso piano (della carta), incontra di nuovo la sua direzione primitiva in X, l'angolo R X S′, formato da questo incrociamento dei raggi, è uguale al doppio dell'angolo S A S′, che fanno i piani prolungati dei due specchi: cioè $\sphericalangle \beta = 2\alpha$.

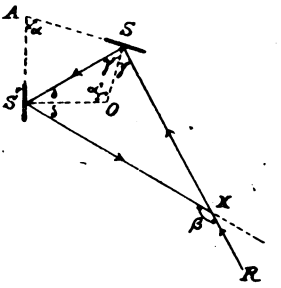


Fig. 90.

Infatti sia S′ O $\perp$ S′ A, allora il secondo angolo di incidenza S S′ O sarà uguale all'angolo di riflessione O S′ X; cioè $\sphericalangle$ S S′ O = $\sphericalangle$ O S′ X = δ.

Considerando il $\triangle$ X S S′ abbiamo

$$\sphericalangle \beta = \sphericalangle X S S' + \sphericalangle S S' X = 2\gamma + 2\delta = 2(\gamma + \delta);$$

nel $\triangle$ S S′ O

$$\gamma + \delta = 180° - \alpha' = \alpha \; ; \quad \text{dunque} \quad \sphericalangle \beta = 2\alpha .$$

Lo stesso vale se i due specchi (come nel Sestante) sono disposti talmente che il raggio doppiamente riflesso incontri il prolungamento della sua prima direzione (Fig. 91).

Considerando il $\triangle$ X S S′ abbiamo

$$\sphericalangle \beta = \sphericalangle R S S' - \sphericalangle S S' X = 2\gamma - 2\delta = 2(\gamma - \delta);$$

considerando poi il $\triangle$ S S′ O, si vede che

$$\gamma - \delta = \alpha \; ; \quad \text{dunque} \; \sphericalangle \beta = 2\alpha .$$

Society) 1699, senza però eccitare con ciò l'attenzione degli interessati. Nel 1731 un'invenzione simile, fatta però indipendentemente dal compatriota di Newton John Hadley, fu presentata alla stessa Società di Londra. Ora però è accertato che già nel novembre 1730 un Sestante (di legno) fu costruito dall'americano Thomas Godfrey ed adoperato a bordo di una nave sull'Oceano Atlantico. Cf. « Astron. Nachrichten », n. 2739.

Digitized by Google

159. — Posto ciò descriviamo intorno a S, con un raggio qualunque, per esempio S A, un circolo, tiriamo S Z ∥ S′ A, allora sarà ∢ A S Z = ∢ S A S′ = α = ½ β. Se S A rappresenta una linda girevole, insieme con lo specchio S, intorno al centro del circolo, e Z lo zero del circolo graduato, la linda S A indicherà sul circolo l' angolo rispettivo α = ½ β. Se S ∥ S′, sarà α = 0, β = 0.

Se lo specchio S′ nella sua parte superiore è trasparente, un occhio collocato in X potrà direttamente vedere un oggetto, che trovasi nella direzione del raggio visuale X S′, mentre nella parte inferiore vedrà un altro oggetto R per doppia riflessione. L' alidada S A indica quindi sul lembo l'angolo α, metà dell'angolo β, che fanno i due raggi visuali R S X ed S′ X.

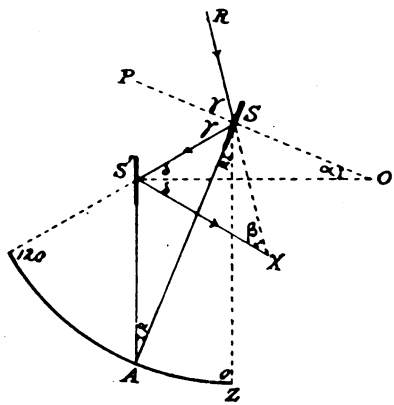


Fig. 91.

160. — La figura 92 rappresenta il modello dello strumento usato nella marina. Un telaio della forma d'un settore circolare, leggero e robusto allo stesso tempo, porta presso il suo centro di gravità in H (parte posteriore della figura) un'impugnatura. Sul lembo graduato A A i mezzi gradi già sono numerati come gradi interi, onde il numero 120° corrisponde ad un angolo reale di 60°, ecc. L'alidada F F, girevole intorno al centro B, porta alla sua estremità oltre le viti a pressione ed a richiamo (num. 148) un nonio, il quale permette di leggere gli angoli con una precisione di 10″. Per rendere questa lettura più agevole, un microscopio *g* può essere messo al disopra del verniere. Lo **specchio mobile** (chiamato anche specchio grande o specchio indice) si trova in B; l'altro **specchio fisso** (piccolo, specchio traguardo) in C. L'ultimo è formato ordinariamente da una lastrina di vetro, inargentata soltanto nella sua metà inferiore, donde l'altezza della parte riflettente

Digitized by Google

(lo specchio) arriva soltanto alla metà dell'altezza dello specchio maggiore. Un tubo D E (con o senza lenti telescopiche) serve per fissare la visuale diretta. Presso K ed L si trovano dei vetri colorati, che per mezzo di cerniere (*b* e *c*) si possono frapporre tra l'occhio dell'osservatore e gli oggetti, quando questi sono troppo luminosi (come il Sole).

161. — Ora volendo misurare per esempio l'altezza del Sole sull'orizzonte del mare, si prende colla destra lo stru-

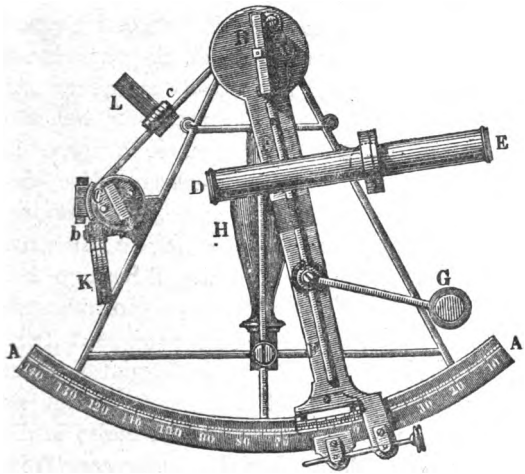


Fig. 92.

mento e tenendolo col piano del cerchio perpendicolare, ossia nel piano verticale passante per il Sole, ponendo l'occhio in E si guarda direttamente l'orizzonte apparente, cioè quella linea di confine tra mare e cielo,[1] (avendo per mezzo dei vetri colorati L protetto l'occhio contro i raggi solari doppiamente riflessi in B e C verso D E), si gira colla sinistra l'alidada, finchè l'immagine del Sole apparisca nello specchio C; allora si ferma la vite di pressione e si mette con quella a

(1) Tenendo conto della depressione di questo orizzonte sensibile sotto il razionale, la differenza cresce naturalmente colla posizione più alta dell'osservatore, viene però facilmente calcolata, essendo conosciuti il raggio terrestre e l'altezza dell'osservatore al disopra del livello del mare; tavole apposite facilitano di più questo calcolo.

Digitized by Google

richiamo l'immagine del Sole in contatto coll'orizzonte. Il lembo, toccando così l'orizzonte, corrisponde al lembo inferiore del Sole.

Se si tratta di misurare la distanza angolare di due punti, che si trovano coll'occhio dell'osservatore in un piano qualunque, farà d'uopo di mettere il piano dello strumento in coincidenza con quell'altro, mirando direttamente il punto che trovasi a sinistra (di chi guarda), e poi conducendo il raggio riflesso del secondo punto sullo specchio a traguardo.

162. — Il grande **vantaggio**, che offre il Sestante come strumento goniometrico, consiste in ciò, che permette di fare la collimazione dei due oggetti allo stesso momento con grande precisione, benchè lo strumento, e forse lo stesso osservatore, si trovino in moto, come appunto accade a bordo di una nave, dove il Sestante è diventato fino ai giorni nostri del tutto indispensabile. Maanche ai viaggiatori in terraferma può rendere grandi servizi. Chi si contenta di una precisione di misura tra i limiti di 1', può ridurre di molto le dimensioni dello strumento, che allora piccolo e leggero diventa tascabile e facilmente trasportabile.

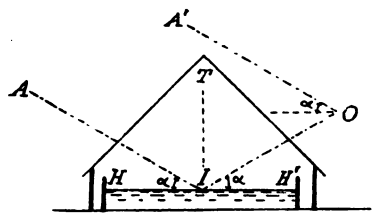


Fig. 93.

Chi vuol fare delle misure angolari in terra, può servirsi vantaggiosamente di un ingegnoso sostegno o **piedestallo** (costruito dallo spagnuolo Torres), che tiene lo strumento per mezzo di due assi perpendicolari equilibrato in qualunque posizione.

Invece dell'orizzonte naturale del mare, dove questo non si vede, si adopera un **orizzonte artificiale** (Fig. 93). Questo consiste in uno specchio piano orizzontale HH' (una vaschetta piena di mercurio), nel quale l'occhio O dell'osservatore cerca l'immagine I dell'oggetto (astro) luminoso A; guardando poi direttamente questa immagine I per lo *specchio a traguardo*, conducesi il raggio A'O dello stesso oggetto, per mezzo dello specchio grande, a coincidere (dopo la doppia riflessione) con IO. L'angolo così misurato [$\measuredangle$ A'OI $= 2\alpha = 2 \measuredangle$ HIA] sarà la

Digitized by Google

doppia altezza di A sopra l'orizzonte HH'. Una tettoia (T) di vetro protegge il liquido contro l'agitazione dell'aria atmosferica, che potrebbe increspare la superficie.

163. — Senza entrare qui nei dettagli dell'uso del Sestante, notiamo soltanto, che l'esattezza delle misure prese dipende dalla perfezione dello strumento. La linda deve essere bene centrata, il circolo ben diviso, gli specchi ed i vetri colorati perfettamente piani e perpendicolari al piano dello strumento, lo zero del nonio e del circolo graduato devono coincidere, quando i due specchi sono paralleli, ossia quando di un oggetto abbastanza lontano (una stella) si vedono le immagini (la diretta e quella doppiamente riflessa) perfettamente coincidere. [1] Gli errori provenienti dalla mancanza di tutte queste condizioni sono tutti controllabili, eccettuato uno solo, cioè l'errore dell'eccentricità dell'alidada. Questo si elimina facilmente negli strumenti che hanno un circolo intero graduato, come vedremo nel seguente articolo; difficilmente in quelli che formano settori d'un circolo (Sestante, Quadrante, Ottante, ecc.).

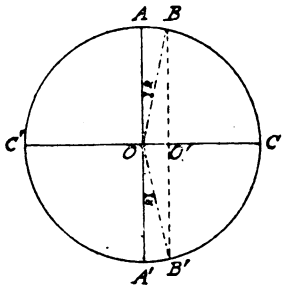


Fig. 94.

ART. II. — CIRCOLI CON LETTURA MOLTIPLICATA. CIRCOLI RIPETITORI.

164. — L'eccentricità dell'alidada, ossia il difetto di concentricità del punto, intorno al quale gira, col centro del circolo graduato, suole eliminarsi nei circoli graduati

(1) Negli usi astronomici sarà sempre vero, che i raggi provenienti dallo stesso astro ai due specchi, possono considerarsi come paralleli; non così nelle misure di oggetti terrestri. La vicinanza di questi può introdurre qualche spostamento dello zero (chiamato parallasse). Cioè in questo caso le immagini dell'oggetto vicino vedute nel modo descritto sovrapposte, non corrisponderanno allo zero della divisione, ma ad un angolo negativo, che poi si dovrà aggiungere agli angoli misurati. L'errore proveniente da questa vicinanza diventa però già trascurabile colla distanza di circa un chilometro.

Digitized by Google

interi per mezzo d'una lettura doppia della graduazione ai due estremi dell'alidada. Sia (Fig. 94) O il centro del circolo graduato, di cui AA′ sia un diametro; se A indica 0°, A′ indica 180°; se A 20°, A′ 200° ecc.

Così un'alidada ben centrata alle due estremità dovrebbe sempre indicare angoli esattamente differenti di 180°.

Ora supponiamo un'alidada col centro in O′; i due capi si trovino in B e B′ essendo BB′ ∥ AA′; invece di indicare l'angolo in A, essa nota un eccesso di α in B, cosicchè, invece di leggere, per esempio 20° e 200°, leggiamo $20 + \alpha$ e $200 - \alpha$, facendo la somma avremo lo stesso $20 + 200 = 220°$ sottraendo 180°, e prendendo la media, avremo $\frac{40°}{2} = 20°$, che indica la posizione giusta di A. Avremo, per esempio, nel primo caso 20° 44′ 50″, nel secondo (199)° 15′ 10″; la media $\frac{1}{2}(20° 44' 50 + 19° 15' 10'') = 20°$.

Se adoperiamo una doppia alidada BB′ e CC′, gli angoli si leggono in B, C, B′ C′; sottraendo da quello in C 90°, da quello in B′ 180°, da quello in C′ 270°, sommando poi le letture e dividendo il risultato per 4, avremo la media delle 4 letture. Così nei grandi Circoli Meridiani talvolta si usano quattro, sei, anzi otto nonii, per eliminare quanto si può anche gli *errori della divisione del circolo*, che così in gran parte si compensano.

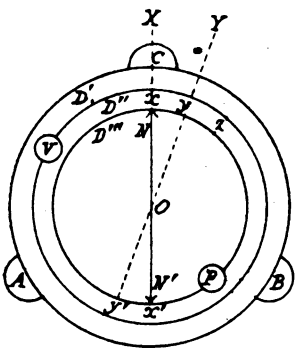


Fig. 95.

165. — I **Circoli ripetitori** con linda ordinaria servono allo stesso scopo. Sia un disco (Fig. 95) orizzontale D′ posato sopra un tripode munito delle solite tre viti A, B, C. (n. 156). Sopra D′ si trovi un secondo disco D″, con raggio alquanto minore, il lembo del quale porti la graduazione. D″ sia girevole intorno al centro comune O, per mezzo però di una vite di pressione V si possa connetterlo stabilmente col disco D′. Un terzo disco D‴, anch'esso girevole intorno ad O, serve di alidada, portando due nonii N N′ diametralmente

Digitized by Google

opposti. Una seconda vite di pressione P serve a connettere D''' e D''.

Posto ciò, sia da misurarsi un angolo X O Y, che fanno due oggetti X ed Y. Serrando per mezzo di V il circolo graduato D'' al piedestallo D', e liberando il *Circolo Alidada* D''' dalla pressione di P, si mira X e si leggono i numeri corrispondenti x (x'); girando N N', finchè coincida con O Y, si leggono i numeri y (y'). L'angolo cercato sarà espresso da $(y - x)$.

Ora per ripetere la stessa misura con parte diversa del circolo graduato, si serra P e si scioglie V, riportando N N' per

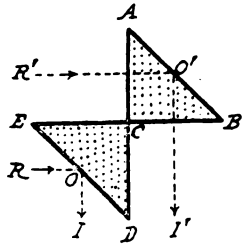


Fig. 96.

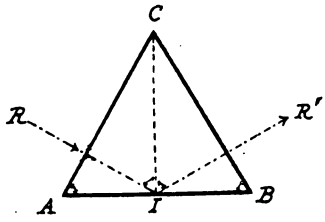


Fig. 97.

mezzo del circolo graduato di nuovo sopra O X, cosicchè y venga sulla O X. Serrando poi V e sciogliendo P, si riporta l'alidada un'altra volta sopra O Y, leggendo la nuova indicazione z. Lo stesso angolo XOY sarà ora determinato dalla lettura $(z - y)$, che dovrebbe essere uguale a $(y - x)$. Se c'è una piccola differenza, questa indica una difettosa graduazione del circolo; l'errore sarà (in parte almeno) eliminato, se si prende la media delle letture, cioè $\frac{1}{2}(y - x + z - y)$. Si potrà ripetere lo stesso processo indefinitamente con nuove variazioni della divisione adoperata, sommando in fine tutti i risultati ottenuti e dividendoli pel numero delle misure prese.

Art. III. — Circoli muniti di specchi prismatici.

166. — I prismi di vetro di sezione triangolare, per la loro qualità di riflettere la luce non soltanto sulle faccie esterne, ma anche sulle interne, e ciò quasi senza indebolimento della

Digitized by Google

luce (con riflessione totale) si raccomandano molto ai vari usi astrometrici.

Siano due prismi (Fig. 96) A B C e D C E la sezione dei quali formi due triangoli isosceli, rettangoli in C; siano quindi uguali i lati: A C = B C = D C = E C. Due raggi luminosi R ed R′ paralleli ad E B saranno riflessi, il primo in O sulla faccia esterna del prisma E C D, l'altro in O sulla faccia interna del prisma A C B; confrontando i due raggi riflessi O I ed O′I′ si trova, che il secondo a cagione della sua riflessione (totale) in O′ ha perduto meno della sua intensità che non O I.

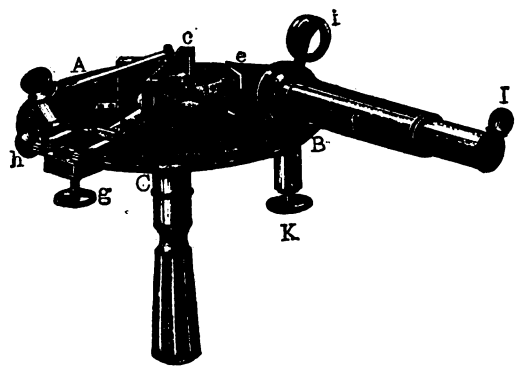


Fig. 98.

Se la sezione del prisma forma un triangolo equilatero A B C (Fig. 97), allora un raggio R I perpendicolare ad A C, sarà riflesso (totalmente) in I sotto un angolo di riflessione C I R′ = 60°.

La figura 98 rappresenta il **Circolo di Pistor**, una specie di Sestante con circolo intero, nel quale lo specchio traguardo è sostituito da uno specchio prismatico (*e*). Lo *specchio grande* (*d c*) si trova nel centro dell'alidada (*a b*), che forma un diametro intero del circolo graduato, con vernieri opposti. Così si elimina più facilmente l'errore di eccentricità. Del resto la teoria di questo strumento (come mostra una semplice ispezione della figura) è quella stessa del Sestante.

Digitized by Google

Art. IV. — Prisma di passaggio. Dipleidoscopio.

167. — Un prisma di sezione A B C (Fig. 99) sia collocato in modo tale che A B (e tutta la faccia rispettiva) si trovi nel piano del meridiano. Il Sole, già vicino a questo piano, mandi i suoi raggi paralleli S B ed S′B′ verso il prisma. S B, senza attraversare il prisma, passa in linea retta verso O, formando colla Meridiana A B un angolo S B M = A B O = α. Il raggio S′B′ sarà rifratto verso C′, poi riflesso verso A′, uscirà nella direzione A′O′ simmetrica a B′S′. Siccome poi S′B′ (essendo S′B′ ∥ S B) fa col Meridiano un angolo S′M B = α,

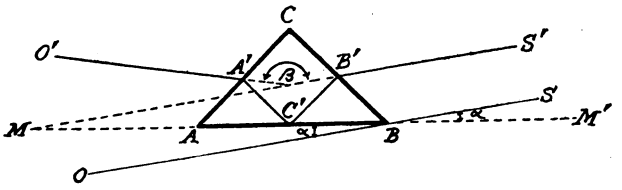


Fig. 99.

così il prolungamento di O′A′ fa con M M′ lo stesso angolo, di modo che l'angolo β che forma il prolungamento di S′B′ e O′A′, sarà uguale a $180° - 2\alpha$.

Un occhio, raccogliendo allo stesso tempo il raggio O B e O′A′, vede due Soli, che vanno avvicinandosi coll'avvicinarsi del Sole al Meridiano, ossia col diminuire dell'angolo α. Se il Sole è arrivato nel piano del meridiano, S O coinciderà con A B, S′B′ sarà parallelo ad AB, quindi $\alpha = 0$, $\beta = 180$; le immagini si coprono, si vede (per un momento) un Sole unico, il quale, passato che sia al Meridiano, comincia a sdoppiarsi in senso opposto; si vedono di nuovo due Soli, che si allontanano rapidamente l'uno dall'altro. Il passaggio del Sole (o di un astro qualunque) al Meridiano, può così essere osservato colla precisione di quasi un secondo di tempo.

168. — Simili strumenti oroscopici (per determinare il tempo) sono stati inventati da vari autori. Uno di questi, che merita speciale menzione, è il **Dipleidoscopio** (Fig. 100) dell'inglese Dent [noto fabbricante di orologi di precisione], il

Digitized by Google

quale ha saputo utilizzare la doppia riflessione sulle faccie di due specchi A C e C B e sulla faccia esterna di una semplice lastra di vetro, in un modo assai ingegnoso.

A B C rappresenti la sezione dell'apparato, collocato collo spigolo C parallelo all'asse del mondo, e colla faccia C B nel piano del Meridiano MM'. Al momento del passaggio del Sole (che si trovi sull'Equatore celeste) al Meridiano, un raggio S C' ‖ M M' sarà riflesso sulla faccia esterna di A B nella direzione C' O, essendo $\measuredangle S C' P = \measuredangle O C' P = i = \frac{1}{2} A C B = 30°$. Un occhio collocato in O vede l'immagine del Sole [1] nella direzione di O C' A'. Ma il raggio S C' penetra pure nell'interno dell'apparecchio nella direzione C' B'; riflesso da B' verso A', da A' verso C', esce di nuovo in direzione di C' O, coincidendo perfettamente colla sua riflessione semplice, avvenuta in C'; quindi un occhio in O vede un'immagine sola del Sole. La prova è facile, poichè tutti gli angoli di incidenza e di riflessione sono uguali a 30°.

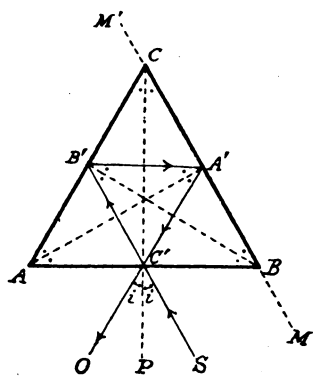


Fig. 100.

169. — Non sarà più così se il Sole (Fig. 101) stia fuori del Meridiano M M', formando col piano del Meridiano un angolo orario $S X M = \alpha$.

Il raggio incidente formerà allora col piano A B un angolo di incidenza $S C' P = 30° + \alpha$, come pure l'angolo di riflessione P C' O sarà $= 30° + \alpha$; quindi $\measuredangle S C' O = 60° + 2\alpha$. Il raggio S C' B', che penetra nell'interno dell'apparato, riflesso in B', verso A', e poi di nuovo da A' verso O, incontra

(1) Che per maggiore semplicità del problema supponiamo sull'Equatore, cosicchè il raggio cada, nel piano del disegno. Se fosse fuori dell'Equatore, l'occhio pure dovrebbe trovarsi fuori del piano della carta dalla parte opposta; del resto la teoria rimane la stessa, basterebbe proiettare i raggi rispettivi sul detto piano.

Digitized by Google

la sua direzione primitiva in I sotto un angolo $A'IS = \beta$, uguale al doppio dell'angolo, che fanno i due specchi (n. 158), cioè $\measuredangle A'IS = 2.60 = 120°$; dunque $\measuredangle SIO$ sarà costantemente uguale a $180° - 120° = 60°$; mentre l'altro $SC'O$ varia con α, essendo sempre uguale a $60° + 2\alpha$.

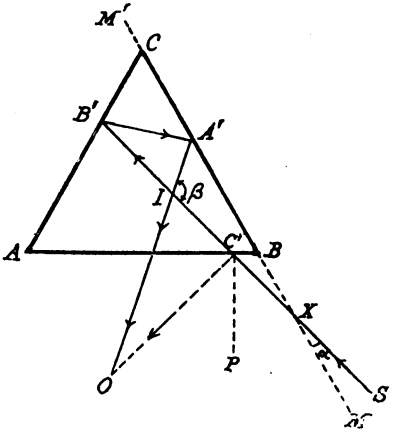


Fig. 101

Da ciò segue, che un occhio, raccogliendo i due raggi $C'O$ ed $A'O$, vede due Soli, che si avvicinano coll'avvicinarsi del Sole al Meridiano. Arrivato il Sole al piano del Meridiano, sarà $\alpha = 0$, $2\alpha = 0$, $\measuredangle SC'O = 60° = \measuredangle SIO$; si vedrà un'immagine sola. Appena il Sole è passato al Meridiano, si vedono di nuovo due immagini, che vanno staccandosi ed allontanandosi l'una dall'altra come di sopra (n. 167).

CAPITOLO IV.

IL TELESCOPIO.

ART. I. — PRENOZIONI STORICHE.

170. — Tra gli strumenti astronomici il Telescopio occupa un posto tanto insigne, che tutto ciò che concerne la sua invenzione, costruzione, i suoi perfezionamenti, le parti che lo compongono, gli apparati accessori, più tardi aggiunti, deve interessare sommamente tutti quelli, i quali si dedicano allo studio dell'Astronomia.

Telescopio chiamasi un apparato di più lenti ovvero di specchi e lenti, disposti in tal maniera nell'interno di un tubo, che fanno vedere un oggetto lontano sotto un angolo

Digitized by Google

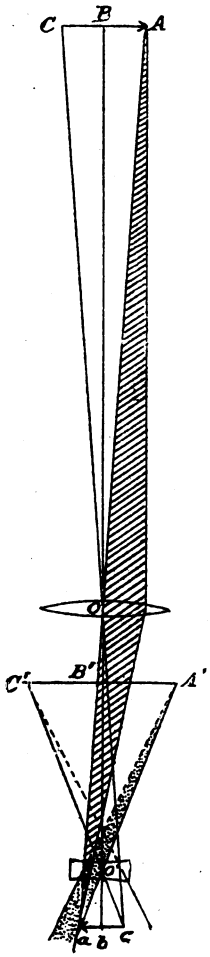


Fig. 102.

visuale maggiore di quello, sotto il quale apparisce all'occhio nudo. Se lo strumento contiene lenti soltanto, l'effetto è dovuto alla sola rifrazione dei raggi attraverso le lenti; ed il telescopio viene semplicemente chiamato **Rifrattore** o Telescopio diottrico; se invece uno o più specchi producono almeno in parte il risultato, lo strumento viene annoverato tra gli apparati catottrici, nei quali i raggi si riflettono; il telescopio chiamasi allora **Riflettore** o **Riflessore.**

A) *Rifrattori.*

171. — Il tipo più antico del Rifrattore è il cosidetto **Cannocchiale olandese** (Fig. 102), composto di due lenti, una O convergente, l'altra O′ divergente; la prima (biconvessa) voltata verso l'oggetto ABC, dicesi obbiettivo, l'altra (biconcava) che sta dalla parte dell'occhio, chiamasi oculare.

I raggi di un punto luminoso A che colpiscono l'obbiettivo, attraversato questo, vanno a riunirsi nel punto *a*, prima però che arrivino a questo punto, vengono intercettati dall'oculare O′ che li rende di nuovo divergenti, come se venissero da un punto A′ (più vicino di A). Quindi l'occhio vede il punto A in A′, il punto C in C′; insomma di un oggetto AC lontano, si forma presso A′C′ un'immagine virtuale ingrandita.

Le prime notizie della strepitosa invenzione vennero dall'Olanda e più precisamente da Middelburg (Zelanda), dove al principio del secolo XVII alcuni occhialai avevano costruito il loro primo cannocchiale. [1] Tra questi vengono nomi-

(1) Questo nome è evidentemente una composizione delle parole: canna (tubo) ed occhiale; a cagione della grandezza del tubo tutto l'in-

Digitized by Google

nati principalmente un certo HANS (Giovanni) LIPPERSHEIM, nativo di Wesel (Germania del Reno inferiore), e un suo compagno di mestiere Zaccaria Janssen (Janszoon).

Rispetto al primo esiste ancora il documento, colla data 2 ottobre 1608, nel quale gli Stati generali dei Paesi Bassi rispondono alla domanda del Lippersheim, di concedergli un brevetto per la sua invenzione. (1)

172. — Esemplari del nuovo strumento furono subito trasportati altrove, in Germania, Francia ed Italia, ed il rumore della nuova invenzione si sparse presto dappertutto. Così *Galilei* ne ebbe notizia da un amico francese *Giacomo Baldovere* (2) nei primi mesi del 1609.

Egli si mise subito all'opera e riuscì presto a costruirne uno da sè, con due lenti: una piano-convessa, l'altra piano-concava, che fissò in un tubo di piombo. L'ingrandimento ottenuto da questa prima combinazione era di 3 diametri. Tosto ne costruì un altro con un ingrandimento di 8 diametri, e finalmente uno che ingrandiva gli oggetti osservati 30 volte. (3)

La costruzione del **Cannocchiale Galileiano** è del tutto identica a quella olandese. Benchè sia cosa poco probabile,

sieme si chiamava nei primi tempi anche semplicemente Cannone (ottico). Ecco la descrizione del Buonarroti (Tanc. 5, 4):

> Par degli organi un cannone,
> Ha due vetri un da capo e un da piede;
> Si chiude un occhio ed altro si pone;
> Sotto si guarda e di sopra si vede;
> Fa crescer sì le cose e le persone,
> Che chi mira un pulcino, un'oca il crede.

(1) Altri scrivono Lippershey (lat. Lippensis), abbr. Lapprey. Il giorno 4 ottobre dello stesso anno 1608 gli Stati generali nominarono una Commissione per esaminare il nuovo strumento. Questa approvò la invenzione, ma espresse il desiderio di vederlo accomodato a tutti e due gli occhi; al quale soddisfece immantinente il Lippersheim, costruendo pure il primo Binocolo.

Il Janssen contestò l'invenzione al Lippersheim. Dai documenti del processo la priorità dell'invenzione rimane un po' incerta, pare che nel caso del Janssen si tratti piuttosto del Microscopio.

(2) Cf. Albèri, Opere di Galilei, III, 60. Firenze, 1843.

(3) Galilei stesso distingue tra l'avvicinamento (apparente) dell'oggetto (che è proporzionale al diametro apparente ingrandito del medesimo) e l'ingrandimento superficiale che è proporzionale al quadrato del diametro.

Digitized by Google

che Galileo sia stato il primo a dirigere il telescopio verso gli astri del cielo, egli è stato certo il primo ad annunziare al mondo con una pubblicazione importante [1] cose maravigliose con esso osservate sulla Luna e nella regione delle stelle fisse, particolarmente della Via Lattea; quello però che sopratutto eccitò la curiosità dei contemporanei, fu la scoperta dei quattro Satelliti di Giove.

173. — La prima teoria del telescopio si deve a GIOVANNI KEPLERO, il quale pubblicò nel 1611 la sua *Diottrica*; [2] in questa egli non soltanto spiega l'andamento dei raggi attraverso le lenti del telescopio olandese, ma allo stesso tempo indica, come per mezzo di due lenti biconvesse si possa ottenere un risultato identico, forse anche migliore. Questa combinazione, che si adatta meglio agli usi astronomici, viene quindi giustamente chiamata **Telescopio Kepleriano** o anche semplicemente Telescopio astronomico.

In questo i raggi di un punto luminoso A (Fig. 103), attraversando la lente obbiettiva O, si riuniscono in *a*. Di un oggetto esteso AC, si forma nel foco coniugato (*b*) [3] un'*immagine reale* rovesciata *c a*; la quale per mezzo della lente oculare (microscopica) O', si trasforma nell'immagine virtuale ingrandita C'A'.

Il piccolo inconveniente, che così si vedono tutti gli oggetti capovolti, per le osservazioni astronomiche è di poca importanza. [4]

Il primo, che costruì tali telescopi astronomici pare che sia stato il Padre CRISTOFORO SCHEINER (d. C. di G.) allora professore in Ingolstadt, il quale per mezzo di essi fece le sue ce-

(1) Sidereus nuncius. Venetiis, 1610.

(2) « Dioptrice seu demonstratio eorum quae visui et visibilibus propter conspicilla non ita pridem inventa accidunt ». Augustae Vind., 1611. Frisch. Op. omn. Kepleri, II, 515.

(3) L'esposizione più minuta della parte ottica del telescopio il lettore troverà facilmente nei vari libri di Fisica.

(4) Keplero stesso già suggerì il modo di rimediare questo difetto nell'osservazione di oggetti terrestri; l'idea fu poi eseguita con una piccola modificazione (usando quattro lenti invece di tre) dal P. Cappuccino Schyrlaeus de Rheita (Boemia), il quale introdusse anche i termini tecnici (finora in uso) di obbiettivo ed oculare. Cf. la sua opera: « Oculus Enoch et Eliae sive Radius sidereo-mysticus ». Antverp. 1645.

Digitized by Google

lebri osservazioni delle macchie solari, pubblicate più tardi in una grande opera intitolata: *Rosa ursina.* (1)

174. — Il principale **vantaggio del Telescopio astronomico** sull' *Olandese* consiste in ciò, che ammette un ingrandimento molto maggiore. L'immagine virtuale dell'ultimo (A'C', Fig. 102), se viene troppo ingrandita, e nondimeno ritenuta alla distanza della visione distinta dall'occhio, viene formata da raggi che escono tanto divergenti dalla lente oculare verso l'occhio, che la piccolezza della pupilla non è più capace di raccoglierli. Di più, soltanto i raggi più centrali di un punto luminoso vanno ad unirsi di nuovo in un medesimo punto, l'aberrazione degli altri rende l'immagine poco distinta.

Per questa ragione, ed inoltre per l'imperfezione delle lenti, l'**aberrazione sferica e cromatica** delle quali era assai sensibile nei primi telescopi, codesti cannocchiali, ad onta dei trionfi che celebrarono, erano necessariamente molto imperfetti in confronto degli strumenti moderni. (2)

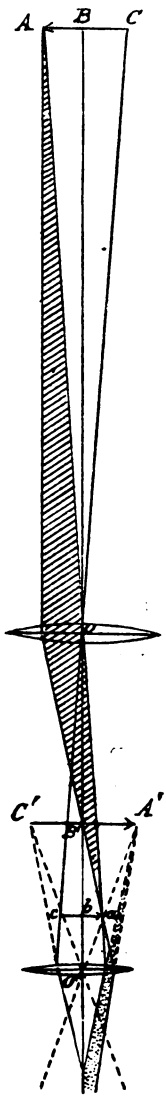


Fig. 103.

(1) Rosa Ursina sive Sol ex admirando facularum et macularum suarum phaenomeno varius, ecc., a Christophoro Scheiner, Germano Suevo. Bracciani, 1626-30.

(2) Kepler, il quale osservò con un cannocchiale imprestato dall'Arcivescovo Ernesto di Colonia (che l'aveva ricevuto da Galilei), si lagna che le stelle, invece di punti, apparissero come piccoli quadrati. Frisch. Op. Om. Kepl., II, 412, 510, 511.

La storia della scoperta degli anelli di Saturno (ora ben visibili anche in uno strumento modesto e tascabile) rende evidente questa insufficienza dei primi cannocchiali. Galilei credeva (1610) di avere osservato questo pianeta come composto di tre corpi diversi: « Altissimum planetam tergeminum observavi ».

Durò quest' incertezza fino all' anno 1655, quando lo Huygens (Ugenio) scoprì il vero stato delle cose, pubblicandolo con un anagramma

Digitized by Google

A fine di diminuire questi difetti, che si fanno meno sentire, quando l'apertura del telescopio è relativamente piccola, (1) ma grande la distanza focale dell'obbiettivo, si costruirono lenti un poco più grandi, con un raggio di curvatura semplicemente enorme. Allo stesso tempo si perfezionava l'arte di fondere e pulire vetri di qualunque dimensione.

La Fig. 104 dà un' idea delle macchine di questo genere. Essa rappresenta il grande cannocchiale costruito ed usato in Roma dal P. Egidio F. Gottignies S. I. († 1689). Tutto lo strumento era sorretto da un sistema di carrucole.

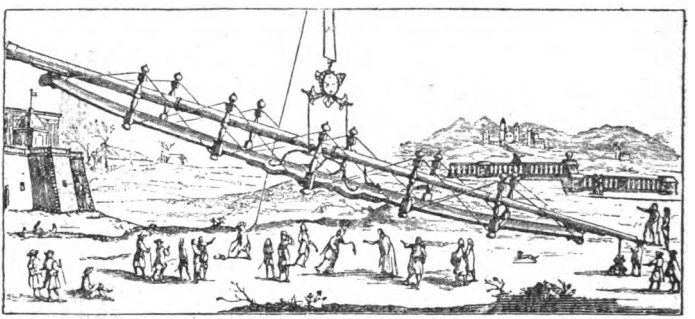


Fig. 104.

Per impedire la flessione del tubo gigantesco, questo era posato sopra un ponte volante, reso rigido per mezzo di molte traverse. L'estremità oculare era sostenuta da un sostegno spostabile. Siccome però il maneggio di tali tubi di una lunghezza da 20, 30 a 50 metri, era assai difficile, si tentò di rimediare a questo inconveniente colla costruzione di Telescopi aerei (senza tubi), fissando semplicemente la lente obbiettiva sul terrazzo di qualche edifizio. Un semplice filo, servendo allo stesso tempo come direttivo della visuale e come freno dell'obbiettivo

del significato seguente: « Annulo cingitur tenui, plano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato ».

(1) Apertura significa qui la lunghezza dell'arco abbracciato dalla lente relativamente al raggio di curvatura. Oggidì si chiama anche semplicemente apertura di un cannocchiale il diametro lineare della lente obbiettiva.

Digitized by Google

stesso, connetteva l'oculare coll'obbiettivo.[1] Con questo rimedio però si andò incontro ad un altro inconveniente, forse maggiore, perchè la luce laterale rendeva le immagini poco distinte; per questa ragione l'idea nuova fu presto abbandonata.

175. — La scoperta di un metodo ingegnoso, di diminuire assai il **cromatismo**[2] delle lenti, anzi di renderle quasi del tutto *acromatiche*, fatta dall'ottico inglese John Dollond circa l'anno 1755, segnala una nuova epoca nella storia dei rifrattori. Invece di una sola lente obbiettiva [Fig. 105] se ne adoperano due di vetri diversi: una convergente di *Crown* (C), l'altra divergente di *Flint* (F). Le curvature tra le due lenti

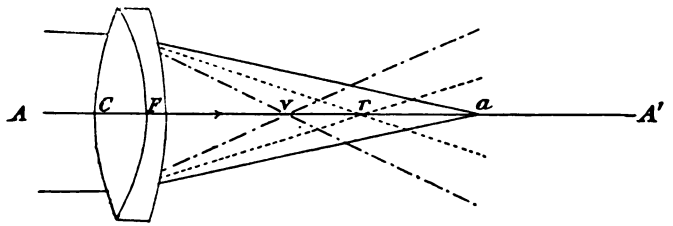


Fig. 105.

combaciano perfettamente, le esterne poi insieme coll'interna sono scelte in maniera che i fochi si trovino ad una distanza voluta, corrispondente a due colori diversi che si sovrappongono, generando così un'immagine più o meno bianca.

Supponiamo, per esempio, un fascio di raggi, incidenti nell' obbiettivo C parallelamente all'asse principale AA' di questo; a cagione della dispersione della luce i raggi più rifrangibili (*violetti*) andrebbero a riunirsi in un foco *v*, i raggi meno rifrangibili (*rossi*) in un foco più lontano *r*. Ora la lente divergente F fa sì che questi raggi si rifrangano un' altra volta in senso inverso riunendosi sensibilmente in un foco più lontano *a*. Un piccolo difetto rimanente si cercò di eliminare

(1) I più rinomati costruttori di telescopi di quei tempi furono Giuseppe Campani in Italia, lo Hevelio (Giovanni Hoewelke di Danzica) in Germania, Cristiano Ugenio e suo fratello nei Paesi Bassi, Auzout in Francia, Rieves e Cox in Inghilterra.

(2) Dal greco χρῶμα (colore) donde ἀχρωματικός (scolorato).

Digitized by Google

per mezzo di una composizione somigliante della lente oculare. (1)

Siccome le teorie diottriche di questi varii sistemi, che richiederebbero una esposizione assai lunga, sogliono esporsi nei varii trattati di Fisica, qui le lasciamo per amore di brevità.

B) *Riflessori.*

176. — L'invenzione dei Telescopi catottrici fu fatta pochi anni dopo quella dei rifrattori. Il P. ZUCCHI d. C. d. G. fin dal 1616 sostituì uno specchio sferico concavo alla lente obbiettiva del telescopio ordinario, osservando l'immagine focale per mezzo di una lente microscopica. (2)

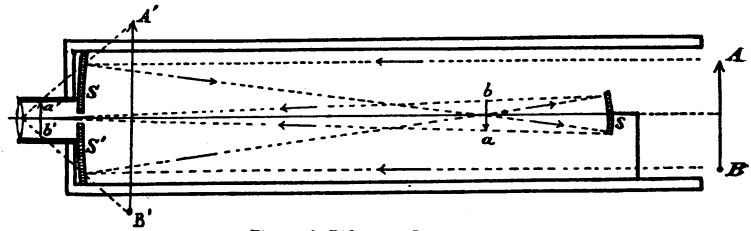


Fig. 106. Riflessore Gregoriano.

Lo specchio ha poi questo grande vantaggio sulla lente, che non disperde la luce in varii colori; genera quindi nel foco dello specchio un' immagine perfettamente acromatica. Inoltre la lente richiede sempre il levigamento di più (due o quattro) superficie curvate, lo specchio invece una sola. Di più il difetto dell'aberrazione sferica, benchè sia comune alle lenti ed agli specchi, nondimeno negli ultimi può più facilmente eliminarsi sostituendo specchi parabolici agli sferici.

(1) Il Fraunhofer di Monaco (Baviera) perfezionò nella prima metà del sec. XIX l'acromatismo, combinando colle due lenti non i fochi dei colori estremi (rosso e violetto), ma i colori più luminosi, ossia più precisamente i raggi luminosi corrispondenti alle linee spettrali C ed F.

(2) Niccolo Zucchi, nato in Parma nel 1586, insegnò matematica, filosofia e teologia nel Collegio Romano. Incoraggiò molto il P. Scheiner di proseguire le sue osservazioni solari; morì in Roma nel 1670. Cfr. il suo trattato « Optica philosophica ». Lugduni Bat., 1652-56.

Digitized by Google

I vari tentativi, fatti senza alcun risultato per più di un secolo, di rendere anche i rifrattori acromatici, insieme al giudizio del celebre Newton, tale acromatismo essere impossibile, conferirono non poco a sviluppare lo studio del perfezionamento dei riflessori.

177. — Una difficoltà che si fece sentire svantaggiosamente nell'uso dei primi riflessori, già perfezionati dal P. Mersenne († 1648 in Parigi), fu questa, che l'interposizione dell'osservatore tra lo specchio e l'oggetto da osservarsi intercettava una certa quantità dei raggi luminosi di quest'ultimo.

Il primo che seppe eliminare questo non piccolo inconveniente fu James Gregory, il quale nel 1663 nella sua *Optica promota*, pubblicò la sua modificazione della nuova invenzione.

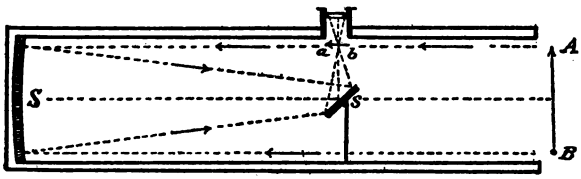


Fig. 107. Riflessore Newtoniano.

Secondo l'idea proposta dal Gregory (Fig. 106), lo specchio principale S S′ concavo doveva essere perforato nel mezzo, i raggi provenienti dall'oggetto luminoso lontano A B e riflessi dallo specchio in forma di un cono luminoso, dopo aver formati un'immagine reale rovesciata *a b* dell'oggetto, erano intercettate da un secondo specchietto *s* concavo, il quale li rimandava convergenti verso l'apertura centrale dello specchio SS′. Lo specchietto *s* era spostabile per mezzo di una vite (somigliante al tiraggio dell'oculare dei rifrattori), per adattarlo alla vista dell'osservatore; la sua distanza ordinaria dallo specchio grande era quella della somma delle distanze focali dei due specchi.

178. — Siccome secondo Gregory lo specchio SS′ doveva essere uno specchio parabolico, e la costruzione di questi non era facile, l'esecuzione pratica di questo **Tipo Gregoriano** avvenne soltanto (1674), dopochè Newton ebbe mostrato, che anche con specchi sferici si ottenevano buoni risultati.

Digitized by Google

Newton costruì nel 1671 un *Riflettore* (Fig. 107) nel quale il cono riflesso S*s* era intercettato da uno specchietto piano *s* inclinato 45° verso l'asse ottico S *s* del Telescopio, cosicchè l'immagine reale *a b* doveva formarsi dentro un tubetto laterale, dove per mezzo dell'oculare veniva osservata. (1)

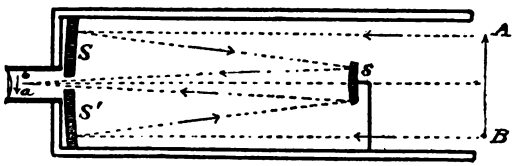


Fig. 108. Riflessore di Cassegrain.

179. — La vista diretta di un oggetto nella direzione della visuale ordinaria spiega la preferenza che si diede al Tipo Gregoriano su quello Newtoniano; soltanto la lunghezza del tubo, necessario nel primo, era poco conveniente. Per accorciarlo, il **Cassegrain** ebbe fin dal 1672 l'idea di sostituire

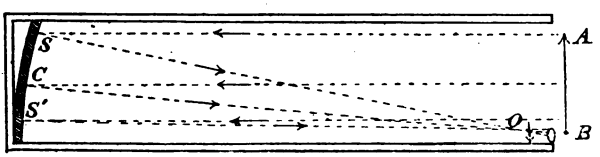


Fig. 109. Riflessore di Herschel.

allo specchietto concavo di Gregory uno specchietto convesso *s* (Fig. 108), il quale intercettando il cono luminoso prima della formazione dell'immagine focale, rimandava i raggi verso l'apertura oculare, formando ivi un'immagine in *a b*. La lunghezza dello strumento si riduceva quindi più o meno alla differenza focale dei due specchi, cosicchè tra il Riflessore di Cassegrain e di Gregory, in quanto alla lunghezza, vi era un rapporto somigliante a quello tra il rifrattore olandese e l'astronomico.

(1) Lo strumento costruito dal Newton si conserva ancora in Londra (nell'Accademia della Royal Society) colla seguente iscrizione: « Invented by Sir Isaac Newton and made with his own hands in the year 1671 ».

Digitized by Google

180. — Tutti questi tipi finora enumerati di riflettori hanno un grande difetto, ed è che i raggi centrali dello specchio sono resi inutili sia per la perforazione dello specchio, sia per l'intercettazione dei medesimi dallo specchio piccolo. **Guglielmo**

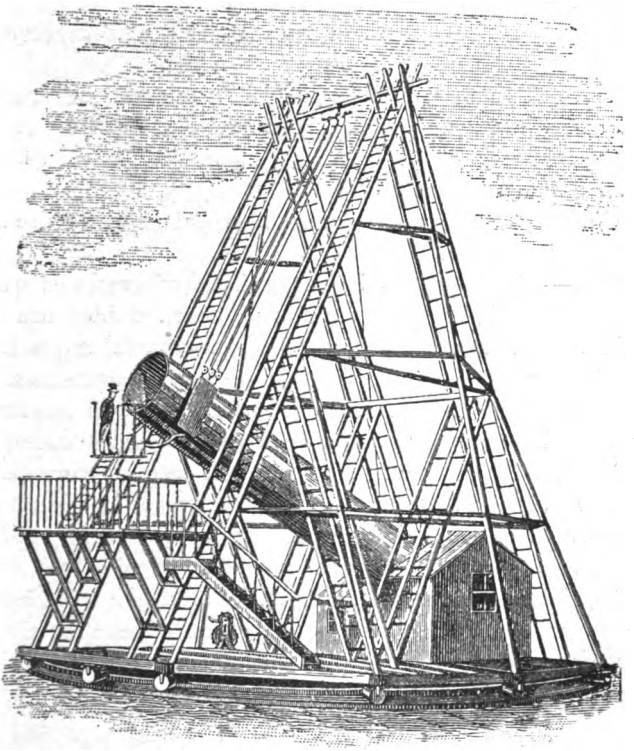


Fig. 110. Telescopio di W. Herschel.

Herschel seppe eliminare anche questa difficoltà coll'invenzione di un tipo nuovo (Fig. 109) dando allo specchio S S′ (parabolico) un'inclinazione verso l'asse del tubo, cosicchè i raggi incidenti paralleli AS, BS′ dopo la riflessione s'incontrano verso un lato del tubo presso O, formando ivi un'immagine focale, la quale può essere osservata direttamente per mezzo della lente oculare.

Digitized by Google

Herschel stesso costruì un grande riflettore di questa specie del quale la Fig. 110 mostra la montatura (altazimutale) gigantesca. Lo specchio aveva un diametro di 1.22 metri, il tubo la lunghezza di circa 12 metri. L'osservatore, con tutte le cose necessarie all'osservazione, si trovava sospeso in una specie di gabbia talvolta 10 o 15 metri al disopra del terreno, seguendo in questa posizione tutti i movimenti del telescopio, rispettivamente alla stella da osservarsi.

Tutta l'armatura, nella quale lo strumento, assicurato per mezzo di corde, poteva cambiare direttamente soltanto l'angolo di altezza, era girevole nel senso azimutale; naturalmente non senza grandi sforzi.

Con questo strumento Herschel scoprì nel 1787 due nuovi satelliti di Saturno. (1)

181. — Confrontando i **vantaggi** dei riflettori con quelli dei rifrattori, i primi meritavano senza dubbio una certa preferenza sui secondi prima della scoperta del modo di rendere le lenti acromatiche (per le ragioni già accennate). Di costruzione più facile e meno costosa, i riflettori assumevano dimensioni sempre più colossali. Così William Parsons, Earl of Rosse, dopo la metà del secolo XIX fece costruire in Parsonstown (Irlanda) un telescopio gigantesco, lo specchio del quale aveva pressochè 2 metri di diametro (6 piedi ingl.) con una lunghezza focale di circa 17 metri (54 piedi).

Oggi però va senza contraddizione, che il *rifrattore* col suo sguardo dritto, col suo potere ottico e penetrante, con la montatura più elegante e più comoda, colle lenti quasi inalterabili, (2) col facile adattarsi ai varii bisogni dell'Astrometria

(1) Lo stesso Herschel tornò presto a preferire un suo strumento di dimensioni più maneggevoli. Il tubo gigantesco del summentovato cannocchiale esiste ancora, ma smontato è fuori di uso:

> Now prone his lies, where he once stood high
> And searched the deep heaven with his broad, bright eye.

(2) L'argentatura degli specchi perde presto il suo lustro; gli specchi metallici (ora si preferiscono vetri argentati) facilmente alterano la loro forma a cagione della temperatura variabile: inoltre quando sono troppo grandi, si piegano diversamente sotto il proprio peso nelle varie posizioni: cose tutte, alle quali le lenti vanno meno soggette. Si aggiunga poi che

Digitized by Google

e dell'Astronomia fisica ed ai varii sistemi di coordinate celesti, è preferibile di molto al *riflessore*, benchè le dimensioni del diametro delle lenti non siano ancora arrivate a quella dello specchio di Lord Rosse. I maggiori cannocchiali rifrattori fin qui costruiti sono quelli di Parigi, Berlino (Grünewald), Yerkes (presso Chicago), Mount Hamilton (California), gli obbiettivi dei quali hanno un'apertura libera di metri 1.25 – 1.10 – 1.02 – 0.91 con una distanza focale di 60, 21, 19 e 18 metri rispettivamente. (1)

182. — Sarebbe però un grande errore il credere, che colle dimensioni dei cannocchiali (siano riflessori, siano rifrattori) cresca nella stessa proporzione il loro potere ottico. Sebbene **l'ingrandimento del telescopio** dipenda in prima linea dalla distanza focale dell'obbiettivo, o meglio dalla proporzione di questa e di quella dell'oculare; sebbene l'ingrandimento per mezzo dell'oculare solo (dato lo stesso obbiettivo) si possa spingere tanto più innanzi quanto più luce un obbiettivo di grande superficie raccoglie nel suo foco, nondimeno la difficoltà di rendere quei blocchi di vetro perfettamente omogenei, di preservare la loro levigatura immune da flessioni ed alterazioni (dovute al proprio peso ecc.) è tale che le immagini focali non hanno più quella nettezza e precisione, che sogliono dare strumenti più piccoli. Oltre a ciò una serie di altri inconvenienti si fanno sentire assai nei telescopi più grandi: l'agitazione dell'aria, dentro e fuori del tubo, le impurità dell'atmosfera terrestre, (2) l'assorbimento di luce prodotto da quei grandi massi

la perdita di luce nella riflessione arriva al 60 per cento, mentre si perde soltanto il 20 per cento nella rifrazione attraverso le lenti.

Se nondimeno i riflessori hanno mantenuto fino ad oggi un posto onorevole in molti osservatori, questo in parte è dovuto alle insigni scoperte fatte per mezzo di essi nei primi tempi, e poi forse anche alla memoria dei grandi nomi di Newton, Herschel, ecc., loro primi costruttori. Forse la crescente facilità di riargentarli ed i vantaggi che offrono per la fotografia celeste, li rimetteranno di nuovo in onore.

(1) Quello di Parigi, che figurò all'Esposizione del 1900, ha però una montatura orizzontale fissa, cosicchè gli astri devono introdursi nel tubo per mezzo di uno specchio riflettente; per la quale ragione astraendo da altri inconvenienti, si perde in luce forse più di quello che si guadagna col diametro maggiore della lente.

(2) Così si spiega che in tali condizioni sfavorevoli si osservi meglio con un telescopio di 15 cm. di apertura, che non con uno di 50 cm.;

Digitized by Google

di vetro, riflessi laterali di altre sorgenti luminose, il mancante contrasto tra luce ed ombra, (1) per non dire niente del difficile maneggio di quei colossi ottici. Inoltre si avverta che i maggiori ingrandimenti oculari, dei quali uno stesso telescopio è capace, raramente possono adoperarsi in pratica a cagione delle circostanze poco propizie all'osservazione.

183 — Considerando tutto ciò, si può dire che cogli strumenti moderni sopraindicati siamo arrivati quasi al **limite del potere ottico** dei nostri telescopi, che permetteranno più o meno un ingrandimento di circa 5000 volte. Con un ingrandimento tale la Luna, per esempio, che trovasi ad una distanza di circa 385000 chilometri (con un diametro di circa 3480 chilometri) apparirebbe come un disco del medesimo diametro collocato alla distanza di $385000 : 5000 = 77$ chilometri. Onde si può dire che oggetti, veduti ad occhio nudo a questa distanza, potrebbero vedersi e distinguersi sulla superficie lunare mediante un tal telescopio. Siccome però la visibilità d'un oggetto sulla Terra dipende da molte circostanze variabili, così lo stesso dovrà dirsi degli oggetti celesti.

Inoltre c'entrano anche le **qualità ottiche e fisiologiche dell'occhio** nel problema. Affinchè due punti luminosi appariscano come punti distinti al nostro occhio, le immagini di essi sulla retina devono estendersi almeno sopra due dei peduncoli, che formano la superficie di questa, ciascuno con un diametro di 5 micron (5 μ), ossia di 5 milionesimi di un metro. Ora se due stelle stanno più vicine di 2′, esse coprono un pe-

si distinguono poi meglio i dettagli di un oggetto con un ingrandimento oculare di 50 volte che non di 500, cose che sono famigliari ad un osservatore pratico, mentre potrebbero sembrare assurde ad un novizio in queste materie.

(1) Si distinguono facilmente dei dettagli sulla Luna al tempo delle sue quadrature (Primo ed Ultimo Quarto), che scompariscono completamente al tempo del Plenilunio; perchè in quei tempi una montagna lateralmente illuminata getta un'ombra nera e ben marcata, che la rileva dal fondo, mentre l'illuminazione diretta, uniforme e abbagliante, che arriva dal Sole nella direzione della stessa visuale nostra, fa sparire i contrasti tra luce ed ombra. Se invece esaminiamo un paio di stellette doppie, abbastanza luminose, col crescere dell'ingrandimento vediamo crescere l'intervallo oscuro che separa l'una dall'altra, mentre i punti luminosi rimangono più o meno punti.

Digitized by Google

duncolo solo, e l'occhio riceve l'impressione di vedere una stella sola. (1) Un telescopio che ingrandisce 60 volte, porta questo limite di discernimento a 2″, un ingrandimento di 600 volte a 0″.2, di 6000 a 0″.02. Applicata la cosa al nostro satellite, la Luna, ad occhio nudo si potranno distinguere oggetti che si estendono sopra $\frac{1}{15}$ del diametro $\frac{3480}{15} = 232$ chilometri; con un ingrandimento di 1000 volte si potranno distinguere oggetti di 232 metri, con ingrandimento di 6000 volte circa 40 metri: cioè oggetti luminosi di questo diametro circondati da altri più oscuri, si vedranno staccati dal fondo oscuro come puntini!

Art. II. — Misura delle immagini telescopiche. Micrometri.

184. — Volendo adoperare il telescopio per le misure astronomiche, è necessario prima di tutto rendere in qualche modo visibile l'asse principale ottico, ovvero il centro del campo visibile del telescopio stesso. Questo si fa per mezzo di due fili sottilissimi incrociati (A B ⊥ C D; Fig. 111),(2) che fissati sopra un diaframma circolare vengono collocati nel piano focale del telescopio astronomico. Il punto di intersezione dei due fili può mettersi con grande precisione in coincidenza con quel punto dell'immagine telescopica, che vuol prendersi come punto di partenza nelle misure da farsi.

In questo modo il telescopio fa le veci dell'*alidada* degli altri strumenti goniometrici, con questo grande vantaggio, che la sua Linea di fiducia (num. 139) è molto più precisa. Circoli graduati, muniti di nonii e microscopi fanno poi sa-

(1) La stella α Geminorum (Castor) è composta di due stelle di grandezza 2, 7 e 3, 7 le quali ora distano l'una dall'altra 5″,6 soltanto, cosicchè un occhio disarmato ha l'impressione di una stella sola di prima grandezza, mentre un piccolo telescopio con un ingrandimento di circa venticinqne volte già fa vedere le due componenti.

(2) Si adoperano a questo scopo fili metallici, di platino, argento, ecc. Preferibili per la loro sottigliezza, uguale per tutta la lunghezza, sono i fili di ragno, che ad onta della temperatura variabile rimangono ugualmente tesi. Anche linee finissime, tracciate sopra una lamina di vetro o di mica, possono, colle dovute precauzioni, adoperarsi allo stesso scopo.

Digitized by Google

pere lo spostamento, che deve darsi al telescopio, per arrivare (in un dato piano) dal punto suddetto di partenza ad un altro, del quale si cerca la distanza angolare dal primo.

185. — Se la distanza angolare da misurarsi tra due o più punti è molto piccola, cosicchè questi sono visibili allo stesso tempo nel campo del telescopio, allora sogliono usarsi più fili, dei quali l'uno o l'altro potrà essere spostabile per mezzo di una vite micrometrica. Apparati tali adattabili ai telescopi chiamansi **Micrometri.** Secondo lo scopo vario, al quale servono, essi sono costruiti diversamente. Descriviamo brevemente i tipi principali.

186. — Nel **Micrometro reticolato** (Fig. 111) i fili formano una *rete* di piccoli quadrati, tra i quali le varie stellette

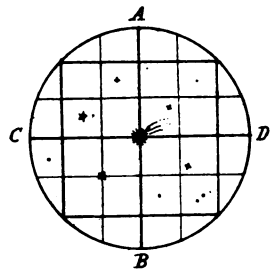


Fig. 111.

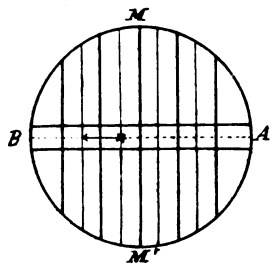


Fig. 112.

visibili si raggruppano in un modo che riesce assai facile, di farne un disegno fedele,[1] e conseguentemente di constatare per esempio la mobilità o immobilità relativa di un oggetto nuovo sconosciuto (una nebulosa, cometa, pianetino ecc.). Anzi determinando la distanza angolare degli stessi fili, si potrà senza grande difficoltà trovare il valore dello spostamento avvenuto in un determinato intervallo di tempo.

187. — **Micrometro di passaggio** potrebbe chiamarsi l'ordinamento dei fili della figura 112. Il diametro puntato A B, sul quale si fa passare l'astro (tra due fili), è intersecato ad angolo retto da un filo (verticale) M M'. A distanze simmetricamente uguali dai due lati di M M' si trovano altri fili pa-

(1) La fotografia produce allo stesso tempo (o se si vuole anche successivamente) gli astri ed il reticolo.

Digitized by Google

ralleli. Supponiamo M M′ coincidere col Meridiano, A B coll'Equatore, allora una stella equatoriale passerà collo stesso intervallo di tempo ai singoli fili.(1) Notando i tempi corrispondenti, facendo la somma, e dividendola pel numero dei fili, avremo con grande precisione il passaggio della stella al Meridiano, il tempo del quale ci dà l'ascensione retta della medesima.

Abbiamo supposto una stella equatoriale, perchè allora il moto facendosi sopra un circolo massimo, ci dà immediatamente l'intervallo angolare dei singoli fili, essendo $1^s = 15''$, $1^m = 15'$. Se la stella si trova sopra uno dei Paralleli celesti, il suo passaggio attraverso il micrometro sarà rallentato, imperciocchè l'intervallo dei singoli fili, restando costante, applicato all'arco d'un circolo (minore) parallelo, abbraccia evidentemente un numero (n') maggiore di minuti o secondi, che non è il numero n abbracciato sopra un circolo massimo (equatoriale); cioè il numero n' sarà tanto maggiore di n, quanto il raggio dell'Equatore (r) è maggiore di quello (r') del Parallelo; ossia

$$n' : n = r : r' ;$$

sia δ la declinazione della stella, allora essendo $r' = r \cdot \cos \delta$, avremo

$$n' : n = r : r \cdot \cos \delta ; \qquad \text{ossia} \qquad \frac{n'}{n} = \frac{1}{\cos \delta}$$

ovvero $$n' = \frac{n}{\cos \delta} ; \quad n = n' \cos \delta ;$$

le quali ultime equazioni forniscono il modo di cambiare gli intervalli di tempo, osservati sopra un parallelo, in intervalli equatoriali e viceversa.

(1) Per assicurare meglio il parallelismo perfetto del moto diurno apparente della stella colla direzione (orizzontale) AB, invece di un filo solo si sogliono adoperare (come vedesi nella fig. 112) due paralleli tra i quali si fa passare la stella. Se la stella si trovasse ad una declinazione di oltre 80°, il moto suo apparente diurno non potrebbe più considerarsi come rettilineo; quindi nelle riduzioni da farsi, farebbe d'uopo tener conto della curvatura del suo moto diurno.

Digitized by Google

188. — Il Micrometro angolare di Cassini [1] (Fig. 113) è uno dei tipi più semplici dei micrometri, che servono a determinare la differenza in Ascensione retta e Declinazione di due stelle. Donde conoscendo le coordinate rispettive di una, si determinano facilmente quelle dell'altra. Il micrometro è composto di due fili $AB \perp CD$, che s'intersecano sotto un angolo retto in O. Girevoli intorno ad O essi vengono collocati in modo tale, che formano 45° colla direzione ($A'B'$) del moto apparente diurno della stella S e col circolo di declinazione $C'D'$. Questo aggiustamento dell'apparato sarà più facile, se vi siano oltre i fili principali AB e CD due fili supplementari $A'B'$ e $C'D'$.

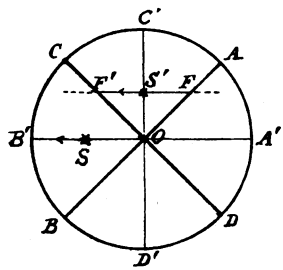


Fig. 113.

Della stella S, che si fa passare nella direzione di $A'B'$, si nota il tempo t dell'appulso in O, dell'altra S' si notano i tempi t' e t'' degli appulsi in F e F'. Il passaggio di S' a $C'D'$ sarà notato da $\frac{t' + t''}{2}$. La differenza dei tempi notati t e $\frac{t' + t''}{2}$ ci dà immediatamente la differenza in Ascensione retta, espressa in minuti e secondi di tempo; se la vogliamo in minuti o secondi di arco, il risultato ottenuto dovrà moltiplicarsi per 15.

La differenza in Declinazione (OS') si deduce dalla seguente considerazione. Il triangolo $OS'F$ è isoscele, quindi $OS' = S'F$; il lato $S'F$ è conosciuto dalla differenza dei tempi osservati, essendo $S'F = \frac{1}{2}(t'' - t')$; espresso in gradi equatoriali (secondo il numero precedente) sarà

$$S'F = \frac{1}{2}(t'' - t') \cdot 15 \cdot \cos\delta = OS'.$$

(1) Giovanni Domenico Cassini, Direttore dell'Osservatorio di Parigi, † 1712.

Digitized by Google

189. — Il **Reticolo di Bradley**[1] (Fig. 114) è un' ingegnosa modificazione del precedente. I fili formano un parallelogrammo equilatero (rombo), nel quale la diagonale verticale 2 C O ha la doppia lunghezza della diagonale orizzontale A B; cioè C O = A B.

Disposto il micrometro in modo che A B segni la direzione del moto diurno, una stella S si fa passare esattamente per il punto C, notando il tempo t dell' appulso, l' altra S' descriverà una linea F F', coi rispettivi appulsi in F al tempo t', ed in F' al tempo t''. Come nel numero precedente la differenza in Ascensione retta delle due stelle sarà data dalla differenza di t e $\frac{t' + t''}{2}$.

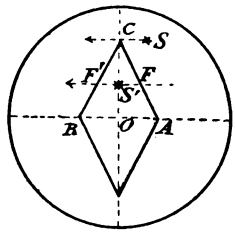


Fig. 114.

La differenza in Declinazione C S' sarà data dal triangolo C F F', essendo

$$C S' = F F' = t'' - t' ;$$

ovvero espresso in gradi equatoriali

$$C S' = (t'' - t')\ 15 \cdot \cos \delta .$$

190. — Il **Micrometro anulare**, inventato dal **P. Boscovich**,[2] rimedia ad un inconveniente, che s'incontra nei micrometri predetti. Quando il fondo del cielo è assai oscuro i fili sottili diventano invisibili. Per renderli visibili è necessario di illuminare il campo del telescopio con luce artificiale di un lumicino. Questa luce però rende invisibili gli oggetti celesti poco luminosi, quali sono per esempio le piccole comete telescopiche, nebulose ecc., la posizione relativa dei quali vorrebbe determinarsi micrometricamente. Il micrometro anulare resta sempre visibile a cagione della sua grossezza, e

(1) James Bradley, astronomo reale di Greenwich, † 1762.

(2) P. Ruggero Giuseppe Boscovich d. C. d. G. (prof. al Collegio Romano), † 1787. « De novo telescopii usu ad obiecta coelestia determinanda ». Bassani, 1785.

Digitized by Google

quindi, non avendo bisogno di illuminazione artificiale, non impedisce la visibilità di oggetti così delicati.

Un anello metallico (Fig. 115) con orli ben circolari viene sospeso nel foco del telescopio concentricamente all'asse ottico.

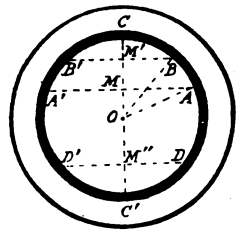


Fig. 115.

I due oggetti (S e S') da misurarsi, per il moto diurno (apparente) della Sfera celeste tracciano due corde A A' e B B' nel circolo interno dell'anello. Si notano, come disopra, i tempi dei contatti t e t' in A e A', ed i tempi τ e τ' rispetto a B e B'. Gli appulsi rispettivi di S ed S' al circolo di Declinazione o orario C C', che passa per il centro O dell'anello, saranno dati dalle formole

$$\frac{t+t'}{2} \quad \text{e} \quad \frac{\tau+\tau'}{2}$$

La differenza tra la prima e la seconda fornirà la differenza di Ascensione retta tra S ed S'.

La differenza di Declinazione, $M M' = O M' - O M$, si ricava dai due triangoli rettangolari A M O e B M' O; dei quali si conoscono i cateti A M e B M' (dalle osservazioni nel modo già spiegato). Il raggio ($A O = B O = r$) deve essere determinato una volta per sempre in uno dei modi già accennati (num. 187).

191. — Se i due astri passano da lati opposti di O, per esempio uno in A A', l'altro in D D', la differenza di Declinazione sarà $M M'' = O M + O M''$.

Invece di osservare i contatti nell'interno dell'anello, si possono pure osservare gli esterni, anzi tutti e due, e prenderne il valore medio.

Se vi sono più anelli, si moltiplicano le osservazioni, avendosi con ciò maggiore precisione; basta che gli anelli stessi siano ben lavorati e disposti concentricamente.

192. — Vi sono molti altri micrometri, ideati nei tempi più recenti; per amore di brevità ne descriviamo soltanto due,

Digitized by Google

dei quali uno per la novità, l'altro per il perfezionamento della sua costruzione meritano una menzione particolare.

Il primo è il **Micrometro a doppia immagine**, chiamato anche *Eliometro*, [1] perchè si adatta in modo speciale alla misura del diametro del Sole. Se si copre la metà dell'obbiettivo di un telescopio, per questo l'immagine nel foco cambia soltanto in chiarezza, perdendo così metà della luce che riceveva per l'obbiettivo interamente scoperto. Tagliando l'obbiettivo in due metà spostabili (Fig. 116), avremo una immagine sola dell'astro; se le due metà combaciano perfettamente (formando una lente sola); spostando le due parti nella

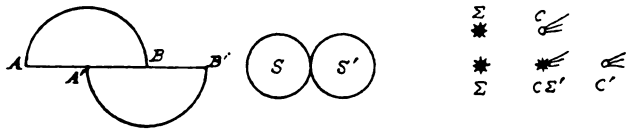


Fig. 116.

direzione del diametro A B ed A′ B′, [2] si vedono nel foco due immagini S e S′. Trattandosi del Sole (o di un pianeta) si può per mezzo dello spostamento (micrometricamente misurabile), delle mezze lenti mettere il lembo sinistro dell'immagine S′ esattamente in contatto col lembo destro dell'immagine S, deducendone il valore del diametro. Lo si applica facilmente alla distanza angolare di due astri, per esempio di una stella Σ e di una cometa C, facendo uno spostamento di Σ in Σ′ e di C in C′, cosicchè Σ′ coincida con C. Un vantaggio di questo micrometro è, che l'esattezza delle misure non dipende dalla stabilità del cannocchiale, e di più si possono misurare distanze abbastanza grandi (fino a 2°).

(1) Dal greco ἥλιος (Sole). Questo strumento ha acquistato una certa celebrità, perchè fu adoperato dal celebre Bessel († 1846 in Königsberg) con grande successo per la determinazione della parallasse della Stella 61 Cygni.

(2) Più esattamente lo spostamento si fa secondo un arco di circolo, che ha il suo centro nel foco stesso del telescopio.

Digitized by Google

Sarebbe certamente cosa meno costosa se si potesse ottenere lo stesso scopo colla bisezione della lente oculare; i risultati però delle prove fatte in questa maniera sono stati poco soddisfacenti.

193. — Il **Micrometro di posizione** (di Merz) è senza dubbio uno dei micrometri più perfetti. In esso viene utilizzato il principio della *vite micrometrica* (num. 148, 149), munita di due fili, uno fisso, l'altro mobile, donde talvolta viene chiamato semplicemente **Micrometro bifilare**. Un terzo filo che attraversa gli anzidetti, serve per l'orientazione dell'apparato, il quale di più è girevole intorno all'asse ottico per mezzo di una ruota dentata. Un cerchio graduato munito di due nonii e microscopi, serve per determinare la quantità di tale spostamento angolare, donde si deduce facilmente l'angolo di posizione; ossia l'angolo che fa la linea di congiunzione di due astri con un circolo massimo (di declinazione) della Sfera celeste. Alla vite micrometrica si trova aggiunto un indice che registra il numero dei giri interi della medesima. Lampadine (portate da un congegno speciale) servono ad **illuminare il campo.** Anzi per mezzo di ingegnosi meccanismi, quest'illuminazione può farsi tanto dalla parte dell'obbiettivo, quanto da quella dell'oculare. Nel primo caso si vedono fili neri sopra un fondo bianco, nel secondo fili bianchi sopra un fondo oscuro.

Corollario. — Oculari micrometrici. Determinazione dell'ingrandimento. – Il Dinametro.

194. — Negli oculari a cagione dell'acromatismo (num. 175) si adoperano due lenti diverse. In una classe di queste le lenti sono combinate in modo tale, che l'immagine focale (reale) si forma tra le lenti oculari, le quali poi nei maggiori ingrandimenti stanno tanto vicine, che non ammettono l'intercalazione di un apparato micrometrico; gli oculari appartenenti a questa classe si chiamano **oculari negativi.**

L'altra classe, cioè gli **oculari positivi**, a modo di un microscopio avvicinati all'immagine reale già formata dall'obbiettivo permette di collocare i micrometri in coincidenza col-l'immagine focale; donde vengono anche semplicemente nomi-

Digitized by Google

nati **oculari micrometrici**. Una più ampia descrizione della differenza tra l'una e l'altra classe di questi oculari vedasi nei trattati di Fisica (Ottica).

195. — Diverse combinazioni dello stesso obbiettivo con vari oculari, producono **ingrandimenti diversi**, ed è sempre cosa utile di conoscere questi vari ingrandimenti. Rappresenti perciò (Fig. 117) A B il diametro della lente obbiettiva, *a b*

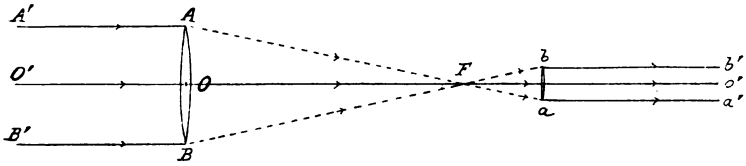


Fig. 117.

quello dell'oculare, F sia il foco principale comune dell'una e dell'altra; allora i raggi provenienti da un punto luminoso assai lontano, ricevuti dall'obbiettivo, formano un cilindro luminoso A' A B B' con base circolare di raggio A O; questi raggi, attraversando la lente obbiettiva, si uniscono nel foco F; divergendo di nuovo dietro F ed uscendo dall'oculare come un cilindretto di luce impiccolito *a' a b b'*. Siccome l'ingrandimento (*i*) viene determinato dal rapporto delle distanze focali, così sarà $i = A B : a b$; praticamente (anche se l'obbiettivo e l'oculare sono composti di più lenti), basterà confrontare il diametro del pennello luminoso che esce dall'oculare col diametro dell'apertura libera dell' obbiettivo, per ottenere l' ingrandimento rispettivo. Questo confronto viene facilitato per mezzo del cosidetto **Dinametro.**[1] Un tubetto T (Fig. 118) porta sopra una lastrina di vetro o di mica una scala micrometrica *m* (divisa in decimi di millimetri) che si osserva per un piccolo microscopio M, scorrevole nel tubo anzidetto. Messo il microscopio alla dovuta distanza dalla scala, dove questa si vede

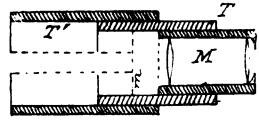


Fig. 118.

(1) Dal greco δύναμις (potere); altri dicono Auxometro (da αὔξω, ingrandisco.

Digitized by Google

distintamente, e puntato il telescopio (sopra un oggetto a grandissima distanza, poi) verso il cielo chiaro, si accomoda il dinametro davanti all'oculare per mezzo di un altro tubetto T′, cosicchè l'anello luminoso veggasi ben distintamente sovrapporsi alla scala micrometrica. Si legge poi la lunghezza del suo diametro; si calcola, quante volte questo è contenuto nel diametro dell'obbiettivo, e si ha senz'altro l'ingrandimento rispettivo.(1)

Art. III. — Le varie montature del Telescopio.

A) *Strumento dei passaggi. – Circolo Meridiano.*

196. — Le osservazioni meridiane degli astri sogliono farsi principalmente a due scopi: 1° per la determinazione del tempo, osservando il momento dei varii passaggi; 2° per la

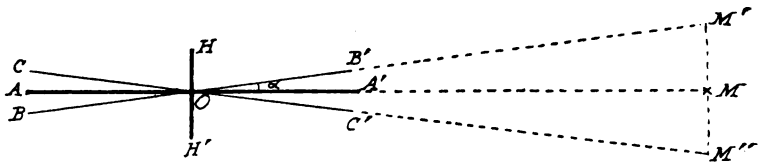


Fig. 119.

determinazione delle Coordinate equatoriali degli astri. Il telescopio adattato al primo, non richiede altro che un asse orizzontale H H′ (Fig. 119), collocato esattamente nel piano del Primo verticale (num. 35), cioè nella direzione dei punti cardinali Est–West. Girando intorno a questo asse, il telescopio, che col suo asse ottico A A′ forma un angolo retto con H H′, può essere diretto verso un astro qualunque,

(1) L'ingrandimento di piccoli cannocchiali si può determinare col seguente nostro metodo più spedito e più facile: Si guarda, per esempio, la Luna per il telescopio, tenendo aperto l'altro occhio. Allora si vede la Luna ingrandita abbracciare una certa estensione del cielo stellato, la grandezza della quale si verifica facilmente in gradi d'un circolo massimo mediante una carta celeste. Sapendo che la Luna, veduta ad occhio nudo, copre un mezzo grado soltanto, si ricava senza difficoltà l'ingrandimento. Lo stesso può farsi con oggetti terrestri di dimensione nota.

Digitized by Google

che passa al meridiano del luogo; basta che l'astro sia visibile sopra l'orizzonte. Un piccolo cerchio di Declinazione facilita il ritrovamento della stella rispettiva (anche di giorno). Lo strumento così stabilito chiamasi **Strumento dei passaggi** (o Transiti).

L'altro scopo, cioè la determinazione delle Coordinate equatoriali, richiede uno strumento, nel quale principalmente il detto Circolo di Declinazione (a fine di ammettere delle misure micrometriche più delicate) sia più grande, munito di nonii, microscopi e viti micrometriche (num. 145 e sg.). Poichè il detto circolo, sul quale si misurano le declinazioni (apparenti) delle stelle, coincide col **Circolo Meridiano,** prevalse semplicemente questo ultimo nome, per designare lo strumento.

197. — Affinchè questi strumenti funzionino bene, è condizione necessaria: 1° che l'asse H H′ sia veramente orizzontale, cosa da accertarsi mediante la Livella (num. 150); altrimenti si avrebbe un Errore di inclinazione; 2° H H′ inoltre deve trovarsi esattamente nel primo Verticale; se questo non fosse il caso, vi sarebbe un Errore azimutale; 3° finalmente bisogna che A A′ sia precisamente verticale all'asse di rotazione H H′; altrimenti vi sarebbe un Errore di collimazione.

Per eliminare quest'ultimo, serve una **Mira** lontana M, collocata esattamente nel piano del meridiano all'altezza dello strumento, mediante la quale si conosce subito se l'asse ottico A del telescopio faccia colla linea meridiana M A un angolo $A\,O\,B = A'\,O\,B' = \alpha$. Ma anche senza una mira fissa (M), basterebbe di guardare un punto qualunque M′ lontano, rovesciando poi lo strumento, cioè poggiando l'estremità H dell'asse orizzontale sulla colonna che portava H′, e viceversa, si vedrebbe un altro punto M″. Allora sarà $\measuredangle M'\,O\,M'' = 2\,\alpha$; riducendo il cannocchiale (per α) sul punto di mezzo (M), esso sarà rettificato.

Con metodi somiglianti si potrà assicurare il dovuto collocamento azimutale dell'asse orizzontale; anzi in Strumenti moderni fatti su scala grandiosa (cf. Fig. 122) quest'asse è perforato e forma un telescopio da sè, con collimatori particolari. (1)

(1) La fig. 120 rappresenta la mira del Circolo Meridiano del Collegio Romano, collocata dal P. Secchi sul Monte Pincio. Invece

Digitized by Google

198. — La figura 121 mostra l'insieme d'uno **Strumento dei passaggi**. Due livelle poste sui perni dell'asse di rotazione e sul cerchio di Declinazione (a sinistra), assicurano l'orizzontalità del detto asse. Tre viti della base del robusto sostegno permettono la correzione necessaria. Le viti di pressione e di richiamo (num. 148), che si vedono più in alto, servono a fissare il telescopio ed a condurlo precisamente al posto dovuto. L'oculare porta un micrometro (numero 112). Due nonii, muniti di microscopi, facilitano la lettura della Declinazione od altezza sul cerchio graduato. Un orizzonte artificiale,

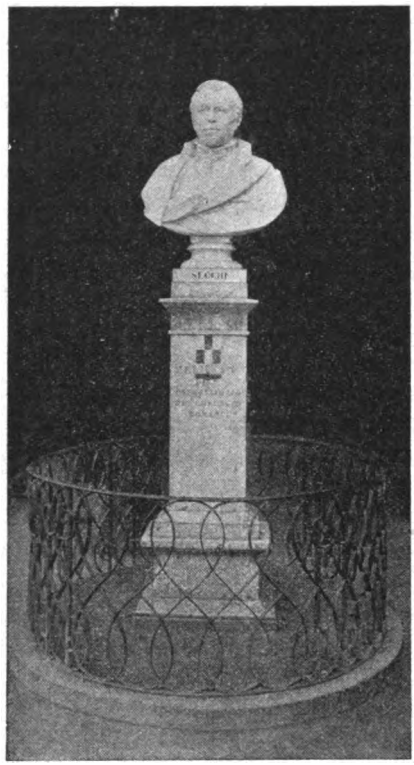


Fig. 120. Mira meridiana del Collegio romano.

della sfera armillare di marmo che prima coronava il pilastro, dopo la morte del benemerito astronomo, fu posto il suo busto. I quadretti bianchi e neri servono a stimare immediatamente il valore dell'errore di collimazione. Di notte una lanterna, appesa dietro la lapide, mandava un raggio di luce attraverso il forellino, che si trova nel mezzo dei quadretti.

Praticamente l'errore di collimazione (esagerato di molto nella nostra figura schematica 119) suol essere piccolo, cosicchè il punto centrale della Mira si vede, ora un po' a destra, ora un po' a sinistra del crocicchio micrometrico, che poi mediante le viti di correzione si riporta sul punto dovuto.

Invece della mira descritta può anche servire un (piccolo) telescopio Collimatore, fissato in vicinanza dello Strumento Meridiano nella direzione MA' (munito di crocicchio focale), voltato coll'obbiettivo verso il cannocchiale dello strumento principale.

Digitized by Google

collocato perpendicolarmente sotto il telescopio serve ad assicurare il punto del Nadir e Zenit; poichè puntando il telescopio verso questo specchio, il crocicchio del micrometro dovrà coprire esattamente la sua immagine riflessa nello specchio di

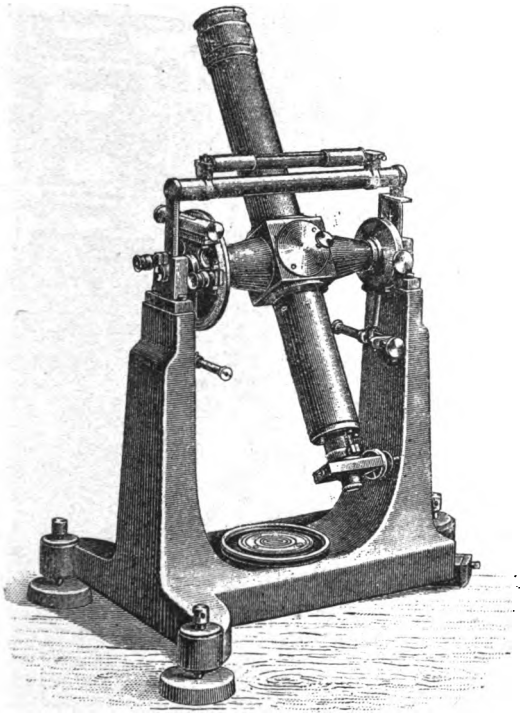


Fig. 121. Strumento dei passaggi.

mercurio.[1] Tutto lo strumento è sorretto da un sostegno solido e robusto, che lo rende stabile nella sua posizione dovuta.

199. — Un Circolo Meridiano con tutti i perfezionamenti moderni vedesi nella figura 122, che rappresenta lo strumento dell'osservatorio di Strasburgo (Alsazia). Le parti prin-

(1) Anzi, hanno trovato il modo di utilizzare un tale orizzonte anche per assicurare una collimazione perfetta dello Zenit (« Astr. Nachrichten », nn. 3394 e 3422).

Digitized by Google

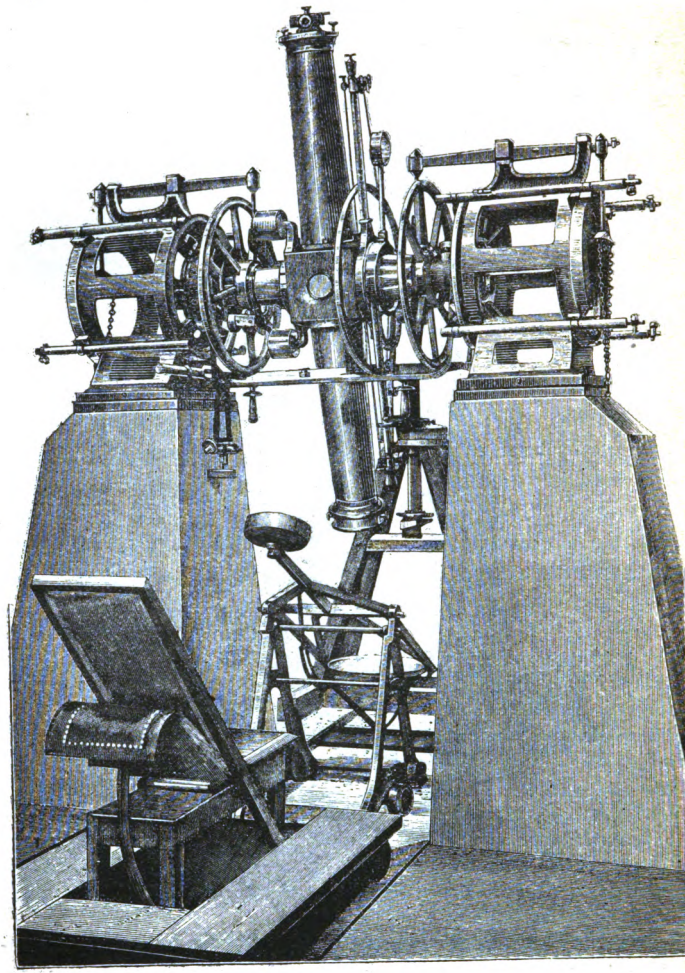


Fig. 122. Circolo Meridiano.

cipali (dopo le cose spiegate fin qui) s'intendono facilmente. Leve robuste a destra ed a sinistra con contrappesi servono ad alleggerire la pressione dell'asse strumentale sui cuscinetti delle colonne di sostegno. Quattro (lunghi) microscopi (num. 164) dall'una e dall'altra parte (solidamente fissati sui ci-

Digitized by Google

lindri perforati) controllano la lettura dei cerchi graduati. Un terzo cerchio con freni e contrappesi serve ad effettuare più facilmente i vari movimenti del telescopio e tenerlo ben equilibrato nelle varie posizioni. La livella principale col suo telarino a forma di U vedesi sospesa al disotto dei cerchi; le estremità delle due braccia poggiano sui perni dell'asse di rotazione dello strumento.

Tra i due piloni si vedono varii apparecchi ausiliari, montati sopra ruote, che li rendono facilmente spostabili sulle guide di una piccola ferrovia. L'ultimo serve a rovesciare lo strumento (num. 197), gli altri due servono ad accomodare l'osservatore (orizzonti artificiali ecc.).

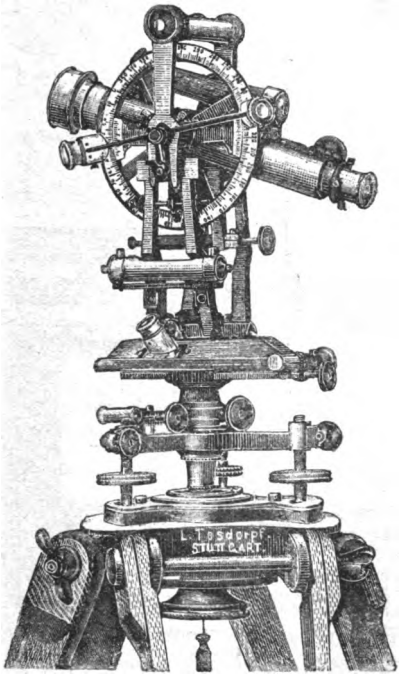


Fig. 123. Teodolite.

B) *Strumenti altazimutali. Teodolite ed Universale.*

200. — Gli strumenti meridiani permettono la misura dell'altezza di una stella soltanto al momento della culminazione. Talvolta congegni particolari rendono tutto l'apparato girevole intorno ad un asse verticale, cosicchè possono essere trasferiti dal piano del Meridiano ad un altro piano verticale. Strumenti che sono inoltre muniti di un cerchio, il quale permette la lettura dello spostamento azimutale, chiamansi **Strumenti altazimutali.** Il tipo più semplice è il cosidetto **Teodolite.**[1] (Figura 123).

(1) L'origine di questo nome non è ben chiara. Mentre alcuni sono di opinione che venga da una contrazione delle parole greche θεάομαι

Digitized by Google

Questo strumento, che serve per molteplici usi astrometrici, è costruito in maniera che sia facilmente trasportabile. Collocato sopra di un *Tripode*, il piccolo cannocchiale è girevole intorno ai due assi, l'uno verticale, l'altro orizzontale. Nell'apparecchio (come mostra una semplice ispezione della figura) vedonsi compendiati quasi tutti gli strumenti ausiliari

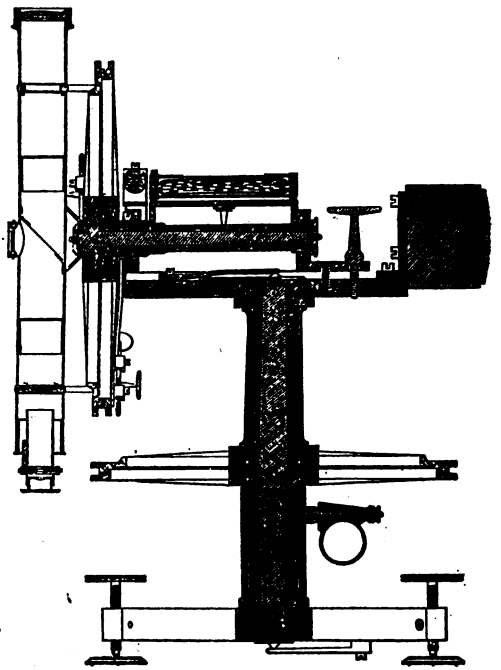


Fig. 124. Sezione verticale dell' Universale.

finora descritti: Filo a piombo, livella, nonio, vite di pressione e di richiamo, circolo ripetitore, micrometro, microscopio, ecc.

201. — Lo strumento altazimutale viene costruito in dimensioni più grandi o più piccole, secondo l'uso al quale

(guardo), δδός (via), λίθος (pietra o scopo), altri più probabilmente lo credono una corruzione dell'inglese The alidad.

Digitized by Google

deve servire. Ora un raggio maggiore e una divisione più minuta è data al cerchio orizzontale, ora al verticale, secondo che gli angoli azimutali (come nelle misure terrestri) o le altezze da misurarsi (come nelle misure astronomiche) sono di maggiore importanza. Anzi talvolta l'uno o l'altro cerchio si vede soppresso affatto. Se tutti e due sono lavorati squisitamente, e tutto l'apparato è fabbricato in dimensioni più grandi, allora lo strumento, così adattato a tutti gli usi geodetici ed astronomici, prende il nome di (strumento) **Universale.** In questo il telescopio, essendo più grande, suol essere fissato ad un'estremità dell'asse orizzontale, affinchè il suo girare liberamente non venga impedito dal cerchio orizzontale.[1] La fig. 124 mostra una sezione dell'Universale. Il telescopio è bilanciato da un contrappeso; l'anello, che vedesi a destra sotto il circolo orizzontale, serve di sostegno ad un secondo piccolo cannocchiale, col quale si collima ad una mira lontana, per assicurare la stabilità dello strumento durante le osservazioni.

C) *L'Equatoriale.*

202. — A cagione del continuo moto (apparente) della Sfera celeste, tanto l'altezza, quanto l'azimut degli astri, cambiano continuamente; donde in uno strumento altazimutale, per tener dietro una stella, si deve girare il telescopio simultaneamente intorno a due assi, cosa assai incomoda. Un teodolite, collocato col suo asse verticale parallelo all'asse del mondo, cosicchè il suo circolo orizzontale diventi equatoriale, non soltanto rimedierebbe a questo inconveniente, ma inoltre permetterebbe di misurare immediatamente le coordinate equatoriali di una stella qualunque. Viceversa conoscendo queste coordinate (Declinazione ed Ascensione retta o Angolo orario), sarà possibile di puntare il telescopio in un tempo qualunque sul punto del cielo, dove la stella trovasi in quel momento.

Il telescopio, montato in questa maniera, chiamato ora **Equatoriale**, è diventato lo strumento per eccellenza dell'astro-

(1) La parallasse (spostamento) dell'angolo azimutale, che potrebbe provenire da questa posizione eccentrica, viene eliminata dalla ripetizione della misura col « cannocchiale rovesciato ».

Digitized by Google

nomo moderno, lo strumento principale di ogni osservatorio astronomico.

203. — La figura 125 rappresenta il primitivo tipo di questo genere, adoperato dal P. Scheiner nelle sue celebri osser-

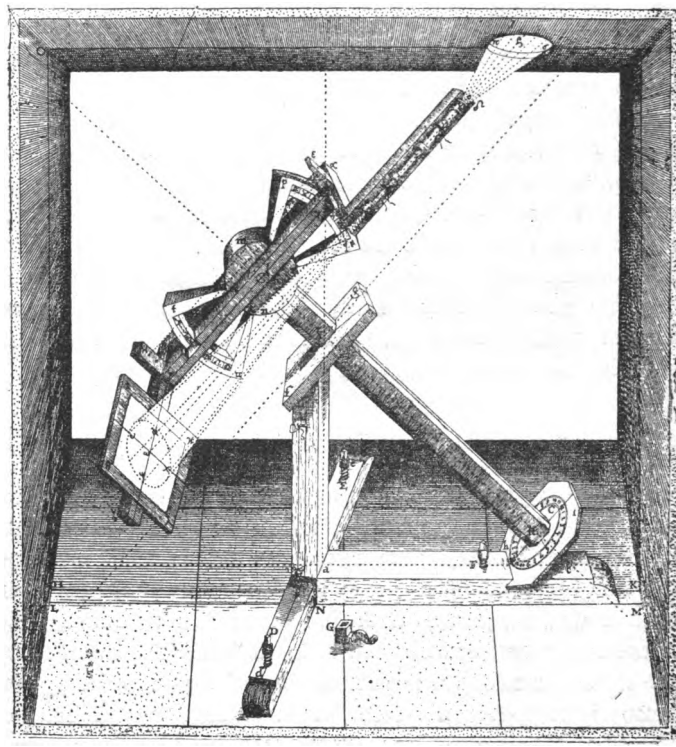


Fig. 125. Equatoriale del P. Scheiner.

vazioni solari (delle quali parleremo più diffusamente nella Astrofisica). Inventore di questa **montatura parallattica** è il compagno del P. Scheiner, il P. Grienberger (tutti e due professori del Collegio Romano). Questi avea ideato l'*Equatoriale* (**Aequatorium**) appunto per trovare e seguire le stelle nel modo già detto.[1] Il P. Scheiner usandolo per le osser-

(1) Cf. Scheiner « Rosa Ursina sive Sol ». Bracciani, 1626–1636, pag. 352. Cristoforo Scheiner, nato nel 1575 in Wald, presso Min-

Digitized by Google

vazioni del Sole, invece di un circolo completo di declinazione, sostituì due settori di circa 50°, quanto cioè richiede la variazione del Sole. L'angolo orario viene indicato dal circolo graduato C che vedesi all'estremità inferiore dell'asse principale il quale è parallelo all'asse del mondo; la declinazione era segnata sui settori insieme ai segni dello Zodiaco. Il telescopio, relativamente piccolo, era fissato sul telaio superiore; l'immagine del Sole si proiettava sopra una tavola, fissa sulla parte inferiore dello stesso telaio e quindi girevole con tutto l'apparato. All'Equatoriale, destinato in questo modo alle osservazioni del Sole, il P. Scheiner diede il nome di **Telescopio eliotropico.**

204. — Gli astronomi posteriori, perfezionando questa macchina ne' suoi dettagli, ne hanno naturalmente ritenuto l'idea generale. Ora si distinguono due tipi principali della montatura equatoriale: Nel primo (Fig. 126), vedesi prolungato l'asse equatoriale dello strumento, che poggia ora in A ed A′ sopra due sostegni diversi M ed N, procurando in questo modo spazio più libero ai vari movimenti del telescopio, fissato nel mezzo dell'apparato.(1) L'asse di declinazione sta (nel centro della figura) perpendicolarmente sull'asse equatoriale A A′. B B rappresenta il cerchio graduato del primo, D D quello del secondo. Il lembo esterno di D D a foggia di ruota dentata viene mosso intorno all'asse A A′ da una vite senza fine, la quale a sua volta sta in comunicazione con un roteggio (orologio) che ne regola i movimenti. I due cerchi sono inoltre muniti di nonii e microscopi, diametralmente opposti.

Tutto lo strumento è coperto da una cupola (cielo mobile), poggiata sopra ruote e carrucole, la quale coll'aper-

delheim nella Svevia, entrò nella Compagnia di Gesù, 1595; fu successivamente professore nei Collegi di Ingolstadt, Friburgo (Brisgovia) e Roma, † 1650.

Cristoforo Grienberger, nato nel Tirolo, 1561, entrato nella Compagnia di Gesù, fu professore di Matematica al Collegio Romano. Morì in Roma, 1612.

(1) L'unico vantaggio, pel quale questa montatura potrebbe preferirsi a quella descritta nel numero seguente si è, che il cannocchiale può seguire una stella per un tempo indefinito senza dover essere « rovesciato », cosa che può sembrare utile specialmente nei cannocchiali fotografici.

Digitized by Google

tura O, per mezzo della manovella R, può essere diretta verso una parte qualunque del cielo stellato.

205. — Dando questa forma all'equatoriale, si sperava di poterlo usare senz'altro per misurare colla dovuta precisione le coordinate equatoriali di una stella in un punto qualunque del cielo, come il Circolo meridiano misura le altezze nel

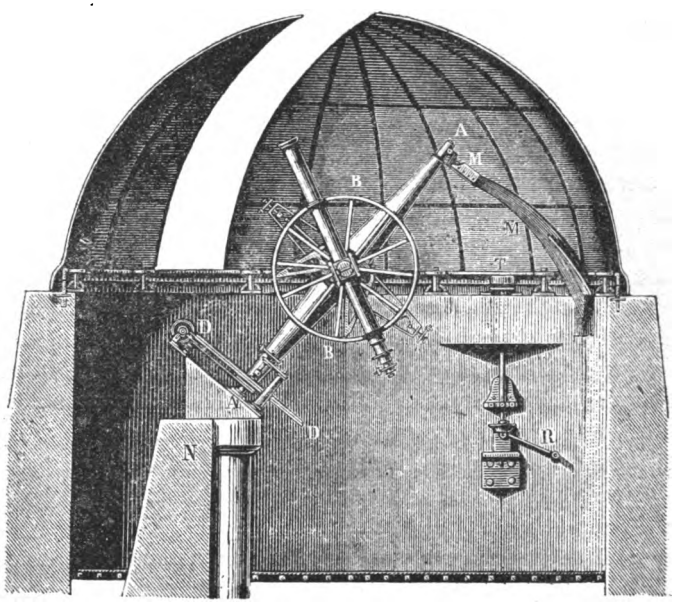


Fig. 126. Equatoriale (tipo antico).

meridiano. Questa speranza però andò fallita, mancando allo strumento la stabilità richiesta a questo scopo.

Si ritornò quindi (specialmente in Germania) al tipo del P. Grienberger, perfezionandolo però in tutti i suoi dettagli. Un bell'esemplare, benchè di modeste dimensioni, uscito dalla rinomata fabbrica del Merz di Monaco (Baviera), che adorna il nostro Osservatorio privato sul Gianicolo,[1] vediamo rappresentato nella figura 127.

(1) L'osservatorio è fornito di un equatoriale più grande, opera dello stesso costruttore. La lente obbiettiva ha un'apertura libera di 27 cm.,

Digitized by Google

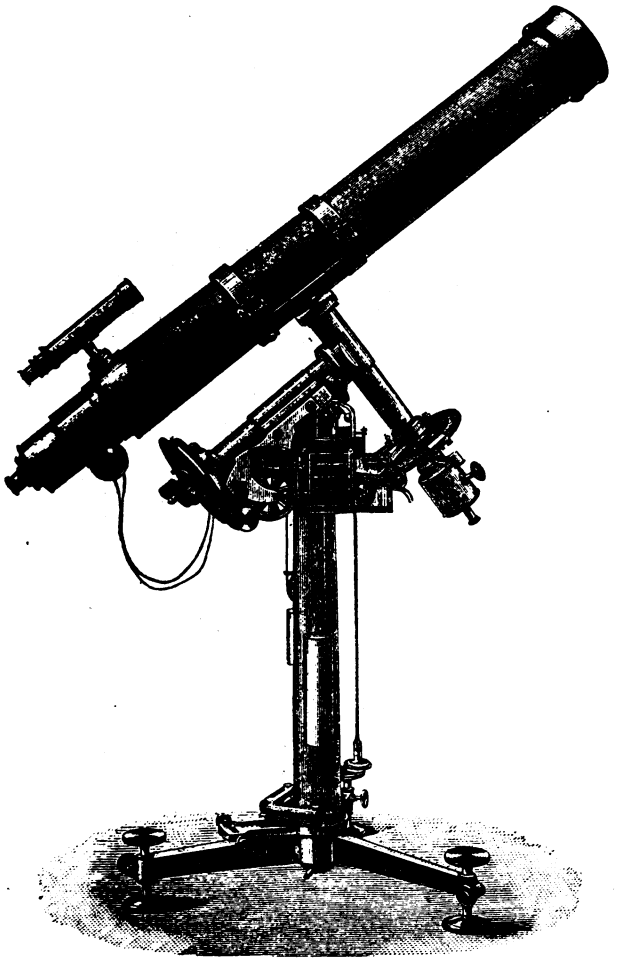


Fig. 127. Equatoriale moderno.

Al cannocchiale principale è aggiunto un altro più piccolo, l'asse ottico del quale è parallelo a quello del grande.

una distanza focale di 3,815 metri. Abbiamo preferito la descrizione del piccolo, essendo questo di costruzione più semplice e quindi la figura più istruttiva.

Digitized by Google

Avendo il piccolo un campo più ampio, più facilmente si trovano per mezzo di esso gli oggetti cercati, i quali, messi nel mezzo del campo di questo **Cercatore**, si vedono allora anche nel telescopio grande.

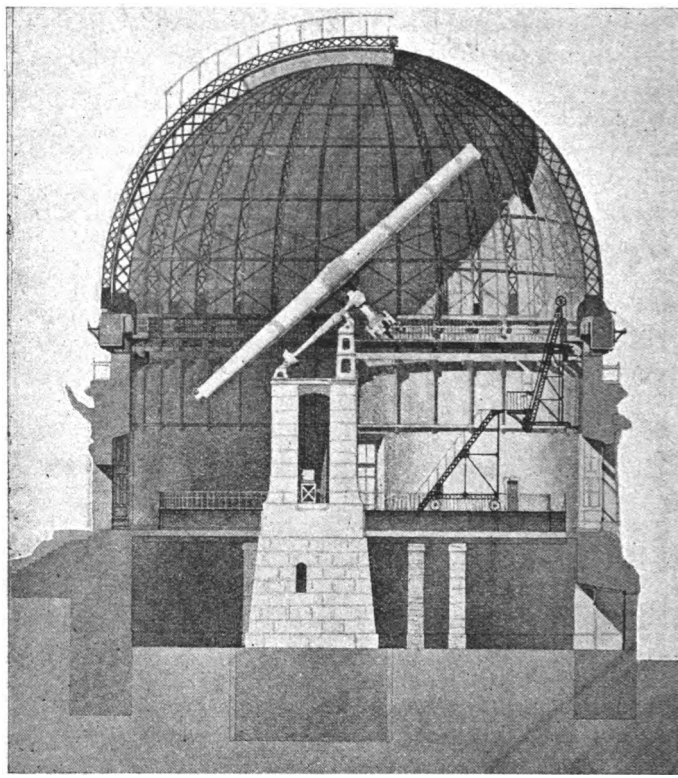


Fig. 128. Grande Equatoriale d'un Osservatorio moderno.

I circoli graduati sono muniti di nonii e microscopi. Due livelle alla base del trepiede assicurano la posizione verticale della colonna principale. Viti di correzione permettono piccoli spostamenti nel senso azimutale. Un orologio con regolatore fa seguire al telescopio il moto della Sfera celeste. I piccoli movimenti, tanto nel senso dell'Ascensione retta quanto della Declinazione, possono eseguirsi dall'osservatore senza

Digitized by Google

che lasci l'oculare dello strumento, che per mezzo di contrappesi è equilibrato in qualunque posizione. L'inclinazione dell'asse principale può variarsi per un buon numero di gradi, cosicchè quest'Equatoriale, con un'apertura obbiettiva di 108 millimetri ed una lunghezza focale di 1,50 metri, può servire pure per spedizioni scientifiche.

206. — I grandi **Rifrattori degli Osservatori moderni** (Fig. 128) sono costruiti più o meno secondo il medesimo tipo. Oltre la parte ottica essi sono, anche per la loro montatura elegante e maneggevole, veri trionfi della meccanica tecnica. Al movimento dei tubi colossali, della cupola sovrastante, delle scale, sedie, ecc. potente aiuto è venuto dall'energia elettrica; inoltre i circoli graduati, che trovansi naturalmente a grande distanza dall'oculare, si leggono per mezzo di microscopi telescopici dalla estremità dell'oculare stesso, senza che l'osservatore debba perciò lasciare il suo posto; dal quale inoltre può eseguire tutti gli spostamenti necessari.

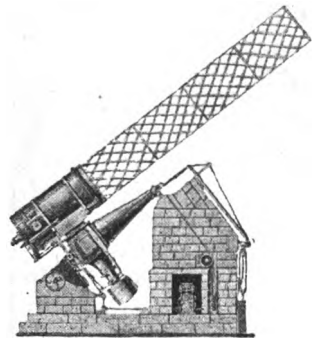


Fig. 120. Montatura parallattica di un grande riflessore.

207. — Per mostrare come la montatura parallattica o equatoriale si adatti ugualmente bene ai varii telescopi riflettori, riproduciamo nella figura 129 quella dell'osservatorio di Melbourne (Australia). Costruito secondo il tipo di Cassegrain (num. 179), il suo specchio metallico ha un diametro di metri 1,22 (4 piedi inglesi) con una distanza focale di metri 8,54 (28 piedi). Invece di un tubo massiccio la parte superiore del cannocchiale, che porta il piccolo specchio, è formato da un reticolato, che in caso di bisogno si può coprire con una copertura leggiera. Così il peso del Telescopio è diminuito di molto; per alleggerire ancora di più il peso rimanente (di circa 3 tonnellate) del colosso, come pure per diminuire la pressione sui perni degli assi, servono i contrappesi che si vedono a destra della figura, i quali inoltre mettono in moto l'orologio (motore del telescopio) rinchiuso nello

Digitized by Google

zoccolo. Il resto sembra abbastanza chiaro da una semplice ispezione della figura.

208. — Tra le variazioni della montatura parallattica merita ancora speciale menzione il cosidetto **Equatoriale a gomito** (Fig. 130) ideato dal signor Loewy di Parigi. In questo strumento l'estremità oculare del tubo resta sempre nella stessa posizione. Il tubo stesso si compone di due pezzi, congiunti ad angolo retto (foggia di gomito) in S.

La parte O S sta parallela all'asse del mondo, l'altra (S S' ⊥ O S) è invariabilmente connessa con O S ed equilibrata dal contrappeso P. Girando il telescopio intorno all'asse ottico O S, la parte S S' percorre il piano dell'Equatore.

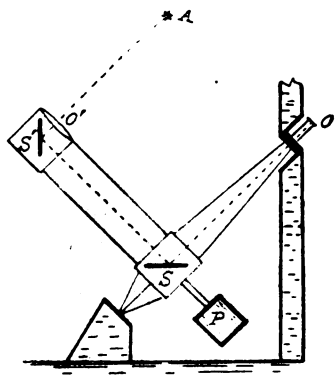


Fig. 130. Equatoriale a gomito.

In S si trova uno specchio, inclinato di 45° tanto verso SO, quanto verso S S'; un secondo specchio (S'), inclinato anche esso 45° verso S S', trovasi presso l'obbiettivo O' del telescopio. L'asse ottico S' A di quest'ultimo, coincidendo col piano del disegno, ossia col piano O S S', fa vedere un astro A (una stella vicina al polo) nella direzione A S' S O. Per potere introdurre in modo somigliante una stella qualunque del cielo, lo specchio S' insieme coll'obbiettivo trovansi rinchiusi in un cubo girevole indipendentemente intorno all'asse (di declinazione) S S'.

In questo modo l'estremità oculare O non solamente resta sempre nella stessa posizione, ma può trovarsi nell'interno di una camera separata, dove l'osservatore, senza muoversi, anzi comodamente seduto dietro un tavolino, può fare le sue osservazioni in una parte qualsiasi del cielo. Ingegnosi congegni, maneggevoli dallo stesso posto, fanno eseguire al telescopio gli spostamenti voluti.

Questa nuova montatura segnalerebbe un grande progresso nella parte tecnica degli equatoriali, se non vi fosse (passando sotto silenzio altri inconvenienti) quella doppia riflessione, la

Digitized by Google

quale fa perdere tanto del potere ottico del cannocchiale, che le accennate comodità non valgono a compensare. Laonde questo tipo formerà piuttosto una cosa di lusso dei grandi Osservatorii, che uno strumento molto utile al progresso della scienza astronomica. (1)

D) *Cercatori di Orbite e di Comete. Osservatorio astronomico.*

209. — Tra i varii strumenti moderni, adattati ai varii sistemi di coordinate celesti, non troviamo un rappresentante del sistema eclitticale (n. 33).

E ciò per due ragioni: 1° perchè lo strumento, dovendo essere munito di tre assi, invece di due, perderebbe molto della stabilità necessaria; 2° perchè si ottengono queste coordinate con molta maggiore precisione per mezzo del calcolo, come vedremo più sotto.

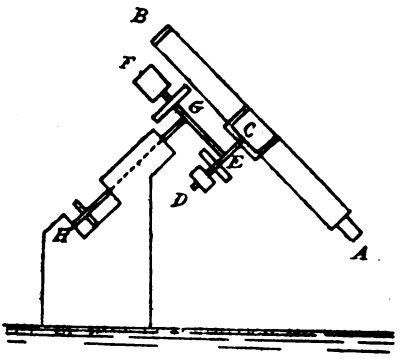


Fig. 131. Cercatore di orbite.

Se nondimeno tali strumenti sono stati costruiti, essi servono piuttosto ad un altro scopo. Sia, per esempio (Fig. 131), AB un telescopio girevole intorno ad un asse perpendicolare CD; CD sia mobile intorno ad un secondo asse (perpendicolare al primo) EF, finalmente EF intorno un terzo GH, il quale sia parallelo all'asse del mondo. Avremo quindi $AB \perp CD$, $CD \perp EF$, $EF \perp GH$.

Se il cannocchiale occupasse il posto dell'asse DC, avremmo un semplice Equatoriale. Insomma DC può essere diretto verso un punto qualunque del cielo e seguire il moto appa-

(1) Un esemplare di grandi dimensioni, cioè con un obbiettivo di 60 cm. di apertura e 18 metri di distanza focale, trovasi all'Osservatorio Nazionale di Parigi. I dettagli della sua costruzione trovansi descritti nel periodico «La Nature», 1891 (18 avril), p. 305-307.

Digitized by Google

rente di questo punto colla Sfera celeste nel modo già indicato (n. 203 sgg.). Sia, per esempio, questo punto il polo dell'Eclittica, allora AB, essendo girevole intorno DC, gira costantemente nel piano dell'Eclittica, quantunque il piano di questa cambi continuamente posizione nello spazio.

Quello che abbiamo detto dell'Eclittica, vale ugualmente di un altro circolo massimo della Sfera celeste. Siccome poi le orbite degli astri (Sole, Luna, pianeti e comete) sono da ricercarsi sopra tali circoli massimi, cosiffatti strumenti sono particolarmente acconci al ritrovamento ed all'osservazione di corpi celesti, l'orbita dei quali è stata calcolata e quindi conosciuta. Airy, l'inventore dello strumento, rappresentato nella fig. 131, lo chiamò perciò **Cercatore di orbite** (*Orbitsweeper*).

210. — **Cercatore di Comete** chiamasi un telescopio (montato in questo od altro modo qualunque), che serve principalmente alla ricerca di questi corpi celesti. Si distingue dai telescopi ordinari per la sua breve distanza focale (rispetto all'apertura) ossia per il suo largo campo di veduta, a cagione del quale una parte del cielo relativamente grande può essere sorvegliata allo stesso tempo. Anche qui i costruttori hanno saputo accomodare la montatura in tal modo che l'occhio dell'osservatore rimanga sempre allo stesso posto.

La descrizione però di tali costruzioni, talvolta assai complicate, ci porterebbe troppo oltre lo scopo prefissoci in questo compendio. Concludiamo quindi questa succinta rivista degli strumenti astrometrici con la breve descrizione della figura, che forma il frontispizio di questo volume, la quale rappresenta l'**Osservatorio astronomico** moderno, costruito (1874-1880) in Vienna, città capitale dell'Austria.

211. — La facciata del grandioso e monumentale edifizio guarda verso Sud. La pianta del medesimo rappresenta una croce latina (come quella della Basilica di San Pietro in Roma); il braccio lungo si estende circa 100 metri da Sud verso Est, il braccio breve (che vedesi nella Figura in tutta la sua estensione) 76 metri da Est verso Ovest. La cupola (cielo mobile) principale, che cuopre il grande Equatoriale sull'incrociamento di mezzo, ha un diametro di 141 metri. L'equatoriale stesso ha un'apertura di 0,675, una distanza focale di 10,4 metri.

Digitized by Google

Sulla parte anteriore più lunga della croce si alza la parte della fabbrica, destinata all'abitazione degli astronomi (biblioteca, laboratori, ecc.),[1] mentre sulle altre tre estensioni si trova l'osservatorio propriamente detto. Le estremità N, E, W portano cupole minori di 8,5 metri in diametro ciascuna, una delle quali nella figura resta invisibile dietro la cupola grande.

Sotto queste cupole (tutte girevoli) si trovano collocati rispettivamente un equatoriale minore, un eliometro ed un cercatore di comete. A destra ed a sinistra dell'elevazione frontale si vedono nella figura alti finestroni che insieme con la parte sovrastante del tetto possono aprirsi, lasciando così una visuale libera nella direzione del Meridiano agli strumenti rispettivi ivi collocati (circolo meridiano e strumenti di passaggio). Una sezione simile si trova nell'altro braccio verso Nord per osservazioni da farsi nel Primo Verticale. La situazione fuori della città, sopra una collina, assicura un orizzonte libero a tutti gli strumenti.

212. — Dopo questa succinta descrizione dei principali strumenti astronomici in generale ed astrometrici in particolare, passiamo ora alla parte matematica dell'Astrometria, fondata sopra la Trigonometria sferica, della quale quanto è necessario rispetto allo scopo di questo compendio, premettiamo una breve introduzione con alcune applicazioni ai vari sistemi delle coordinate celesti, esponendo anche il metodo di trasformare un sistema nell'altro, senza però uscire dal campo della matematica elementare.

(1) Ivi si trova pure una collezione interessante di strumenti antiquati dei tempi passati, quando l'Osservatorio dell'Università stava ancora sotto la direzione dei Padri della Compagnia di Gesù (P. Hell, 1756–92; P. Triesnecker (1792–1817), ai quali succedettero i due Littrow padre (1819–40) e figlio (1840–77) ed il presente direttore sig. E. Weiss (1877).

Digitized by Google

PARTE QUARTA

LA TRIGONOMETRIA SFERICA APPLICATA ALL'ASTRONOMIA

CAPITOLO I.

PRENOZIONI GENERALI DELLA TRIGONOMETRIA SFERICA. (1)

213. — La Sfera, geometricamente considerata, può concepirsi generata da un giro intero di un semicerchio A B C (Fig. 132) intorno al diametro A C. Il centro del semicerchio sarà allo stesso tempo centro della sfera, dal quale tutti i punti della superficie sferica distano ugualmente. Qualunque retta, condotta dal centro ad uno di questi punti superficiali, è un raggio della sfera; qualunque retta, condotta pel centro a due punti superficiali opposti, è un diametro della sfera.

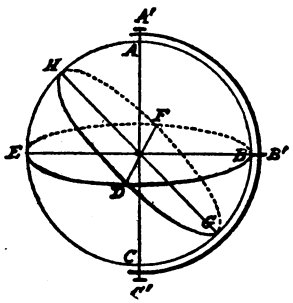


Fig. 132.

Ogni sezione piana della sfera segna nella superficie sferica un circolo. Se la sezione passa per il centro stesso della sfera, avremo un circolo massimo, il raggio del quale è uguale al raggio della sfera stessa. A tutte le altre sezioni corrispondono circoli tanto minori, quanto il piano secante dista più dal centro della sfera. Per descrivere un circolo massimo sopra un globo materiale, basta fissare in due punti A e C, diame-

(1) Per maggiore chiarezza richiamiamo qui alla memoria alcune nozioni in parte già esposte di sopra. Non essendo però nostra intenzione di inserire qui un trattato completo di Trigonometria sferica, ci contentiamo delle cose più convenienti allo scopo di questo compendio.

Digitized by Google

tralmente opposti, per mezzo di due viti A′, C′ un semicerchio (materiale) A′B′C′ di raggio alquanto maggiore di quello del globo. Nel punto B′ equidistante da A′ e C′ si fissa uno stilo, il quale poi girando intorno all'asse A C descrive sulla sfera il circolo massimo B D E F. Il diametro A C chiamasi a s s e del medesimo circolo, i punti A e C, equidistanti da qualunque punto della circonferenza, i suoi p o l i. Il circolo stesso poi divide la sfera in due *emisferi* uguali.

I piani di due circoli massimi (B D E F e D H F G) s'intersecano evidentemente in una linea retta (D F), la quale (passando i due piani necessariamente per il centro della sfera) è un diametro della sfera; questo diametro divide ciascuno dei due circoli in due semicerchi.

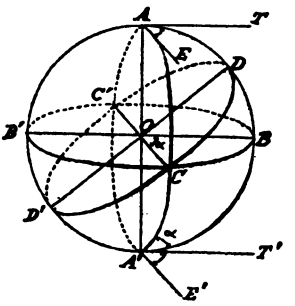


Fig. 133.

214. — Due circoli massimi (Figura 133) A B A′ e A C A′ intersecandosi formano due **angoli sferici** uguali ($\measuredangle$ C A B = $\measuredangle$ C A′ B). Tali angoli vengono misurati dall'angolo che formano le due tangenti A T ed A E ossia A′T′ ed A′E′ (una tangente al circolo A B A′, l'altra al circolo A C A′).

Se nel centro O della sfera, sul diametro A A′, alziamo le due perpendicolari O B nel piano di A B A′, ed O C nel piano di A C A′, l'angolo B O C (= $\measuredangle$ T A E = $\measuredangle$ T′A′E′) è l'angolo che fanno i due piani dei circoli massimi, misurato dall'arco B C, appartenente ad un altro circolo massimo, di cui A A′ forma l'asse, ossia del quale i punti A ed A′ sono i poli.

La figura superficiale, inclusa tra A B A′ ed A C A′, è dunque un vero b i n a n g o l o s f e r i c o; quella invece inclusa da tre circoli massimi, per esempio, A B, B C, C A ovvero A D, D C, C A, ecc., chiamasi **Triangolo sferico.**

I lati dei triangoli sferici (da noi considerati) [1] sono

(1) Escludiamo da questa considerazione generale i triangoli del tutto o parzialmente formati da circoli minori; come pure i triangoli, che abbiano un lato maggiore di un semicerchio, come sarebbe il triangolo (Fig. 133) ABC, prendendo come lato B C l'arco BC′B′C = 360° — BC. Tali triangoli, se occorrono, facilmente si sciolgono indirettamente.

Digitized by Google

dunque in realtà archi di circoli massimi, i quali corrispondono agli angoli, formati dai raggi, condotti dal centro della sfera alla loro estremità. Così, per esempio, nella fig. 133 il lato ossia l'arco BC del triangolo sferico ABC corrisponde all'angolo BOC e viceversa; così al lato DC corrisponde l'angolo DOC e così via; insomma si esprimono vicendevolmente l'uno per l'altro.

215. — **Triangolo sferico rettangolo** chiamasi un triangolo sferico, nel quale almeno uno degli angoli è un angolo retto, come nella fig. 133 il triangolo CBD è rettangolo in B. Diciamo *almeno* un angolo, perchè nel triangolo sferico (differentemente dal triangolo piano) due, anzi tutti e tre gli angoli possono essere angoli retti; difatti il triangolo ABC (rettangolo in B e C) è un triangolo birettangolo; se supponiamo di più $BC = 90°$, anche l'angolo BAC ($\measuredangle \alpha$) sarà un angolo retto, e ABC sarà un triangolo trirettangolo. I circoli massimi dell'Orizzonte, Meridiano e Primo verticale formano sulla Sfera celeste 8 triangoli trirettangoli; lo stesso fanno l'Equatore ed i due Coluri (equinoziali e solstiziali).

In un triangolo rettangolo (con un angolo retto solo) si sogliono chiamare (come nella Trigonometria piana) ipotenusa il lato opposto all'angolo retto, cateti i due lati adiacenti.

Similmente si adoperano i termini tecnici di triangolo scaleno, isoscele, equilatero, secondochè i lati sono tutti disuguali, ovvero sono uguali due, o tutti tre i lati.

Rettilatero dicesi un triangolo sferico che ha almeno un lato di 90°, come il $\triangle$ ACD, nel quale $AC = 90°$ è un *quadrante* del circolo massimo. Birettilatero sarebbe $\triangle$ ACB, supponendo $BC < 90°$; supponendo invece $BC = 90°$, $\triangle$ ACB sarebbe un triangolo trirettilatero.

CAPITOLO II.

TEOREMI PRELIMINARI.

216. — **Due triangoli sferici polari sono allo stesso tempo supplementari**; cioè la somma dei singoli lati dell'uno e dei singoli angoli rispettivi dell'altro formano due angoli retti.

Digitized by Google

Se i vertici di un triangolo sferico A B C (Fig. 134 e 135) [1] sono poli dei lati di un altro triangolo sferico A′ B′ C′, questi due triangoli chiamansi **triangoli polari.**

Sia dunque A il polo di B′ C′, B il polo di A′ C′, C il polo di A′ B′.

Chiamiamo i rispettivi angoli dell'uno α, β, γ; dell'altro α', β', γ'; i lati corrispondenti [2] opposti a, b, c e a', b', c'; allora dovremo provare che $a + \alpha' = 180°$, e viceversa che $\alpha + a' = 180°$, ecc.

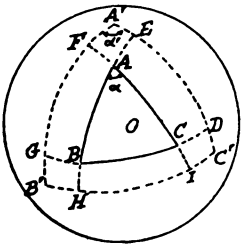


Fig. 134.

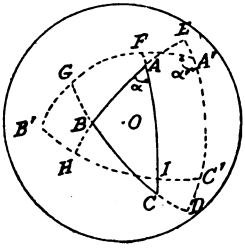


Fig. 135.

Prolunghiamo perciò i lati dei triangoli, in modo che s'incontrino nei punti D, E, F, G, H, I, allora sarà

$$a = BC\,; \quad \alpha' = GD = GB + BC + CD$$

$$a + \alpha' = (BC + GB) + (BC + CD) = 90° + 90° = 180°.$$

Essendo cioè C polo di A′ B′, G e tutti i punti di A′ B′ distano 90° da C; similmente essendo B polo di A′ C′, D e tutti i punti di A′ C′ distano 90° da B.

Nella stessa maniera si prova

$$a + \alpha' = 180° \qquad b + \beta' = 180° \qquad c + \gamma' = 180° \qquad (1)$$

(1) Abbiamo aggiunto la fig. 135, meno simmetrica della fig. 134, per mostrare meglio la variabilità del caso.

(2) Per maggiore chiarezza, e per aiutare la memoria nello sviluppo delle formole generali, conserveremo generalmente parlando questa nomenclatura, che chiamando A, B, C i tre vertici di un triangolo, con α, β, γ indichiamo gli angoli rispettivi, con a, b, c i lati opposti.

Digitized by Google

La seconda parte, che $\alpha + a' = 180°$, si deduce nello stesso modo, considerando che

$$\alpha = HI, \quad a' = B'C' = B'H + HI + IC'$$

quindi

$$\alpha + a' = (HI + B'H) + (HI + IC') = 90° + 90° = 180°$$

avremo dunque

$$\alpha + a' = 180° \qquad \beta + b' = 180° \qquad \gamma + c' = 180° \qquad (2)$$

Dal detto si vede che i punti A' B' C' sono allo stesso tempo i poli dei lati BC, AC, AB; ossia che i due triangoli sono vicendevolmente uno polare dell'altro; potremo quindi usare come sinonimi i nomi di triangoli polari e supplementari.

217. — COROLLARIO I. Sommando le tre equazioni (2), avremo

$$\alpha + \beta + \gamma = 540° - (a' + b' + c'), \quad \text{ossia} \quad \alpha + \beta + \gamma < 540°;$$

cioè la somma dei tre angoli di un triangolo sferico è minore di sei angoli retti.

COROLLARIO II. Congiungendo i tre vertici ABC (Fig. 136) di un triangolo sferico col centro O della sfera, risulta

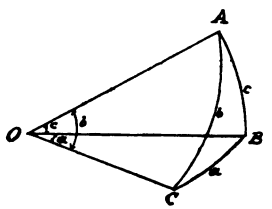


Fig. 136.

$$a = BC = \measuredangle BOC$$
$$b = AC = \measuredangle AOC$$
$$c = AB = \measuredangle AOB$$

Ora la somma di questi ultimi angoli formando le faccie di una piramide, non può mai arrivare a 360°; perchè in questo caso si troverebbero in uno stesso piano i tre lati AB, BC, CA; formerebbero un solo circolo massimo della sfera (non più un triangolo). Donde segue per un triangolo sferico qualunque, che la somma dei lati è sempre minore di 360°, ossia

$$a + b + c < 360°.$$

Digitized by Google

La somma dei lati di un triangolo sferico varia quindi da 0° fino a 360°.

Applicando questo alla formola del corollario I rispetto alla somma degli angoli $\alpha + \beta + \gamma$, segue che la quantità da sottrarsi da 540° è sempre minore di quattro angoli retti; quindi restano sempre più di due; donde

$$\alpha + \beta + \gamma > 180°$$

cioè la somma dei tre angoli di un triangolo sferico è sempre maggiore di due angoli retti; essa varia dunque tra due e sei angoli retti.

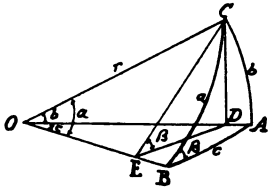


Fig. 137.

218. — In un **triangolo sferico rettangolo** il seno di un angolo (acuto) è uguale al seno del cateto opposto diviso per il seno dell'ipotenusa (Fig. 137):

$$\operatorname{sen} \beta = \frac{\operatorname{sen} b}{\operatorname{sen} a}.$$

Sia il triangolo ABC rettangolo in A. Congiungendo i vertici col centro O della sfera per mezzo dei raggi $AO = BO = CO = r$, e facendo $CD \perp OA$, $DE \perp OB$, sarà pure (come dimostrano i geometri) $CE \perp OB$.

Nel triangolo piano EDC, rettangolo in D, abbiamo

$$\operatorname{sen} \beta = \frac{CD}{EC} = \frac{r \operatorname{sen} b}{r \operatorname{sen} a} = \frac{\operatorname{sen} b}{\operatorname{sen} a}$$

Si potrebbero in maniera somigliante dimostrare tutte le altre formole per il triangolo rettangolo; noi invece le dedurremo dalle formole generali di un triangolo qualunque.

Digitized by Google

CAPITOLO III.

TEOREMI GENERALI. RELAZIONI TRA LE FUNZIONI TRIGONOMETRICHE DEI LATI E DEGLI ANGOLI DI UN TRIANGOLO SFERICO QUALUNQUE

219. Teorema I. In ogni triangolo sferico il coseno di un lato è uguale al prodotto dei coseni degli altri due lati, più il prodotto dei loro seni pel coseno dell'angolo opposto al primo lato (Fig. 138); cioè

$$\cos a = \cos b \cos c + \operatorname{sen} b \operatorname{sen} c \cos \alpha .$$

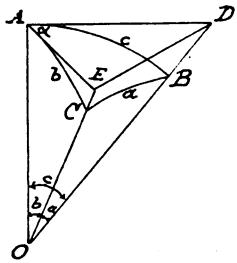


Fig. 138.

Congiungendo i vertici A B C del triangolo col centro O della sfera, e prolungando i raggi O B ed O C fino ad incontrare in D ed E le linee A D ed A E (tangenti alla sfera in A), e conducendo la retta D E, si ottengono due triangoli piani $\triangle$ D O E e $\triangle$ D A E, dei quali D E, è lato comune.

Da questi due triangoli risulta

$$\overline{DE}^2 = \overline{OD}^2 + \overline{OE}^2 - 2\,OD \cdot OE \cos a$$
$$\overline{DE}^2 = \overline{AD}^2 + \overline{AO}^2 + \overline{AE}^2 + \overline{AO}^2 - 2\,OD \cdot OE \cos a$$
$$\overline{DE}^2 = \overline{AD}^2 + \overline{AE}^2 - 2\,AD \cdot AE \cos \alpha$$

Quindi

$$2\,\overline{AO}^2 - 2\,OD \cdot OE \cos a = -2\,AD \cdot AE \cos \alpha;$$

$$\cos a = \frac{AO \cdot AO}{OE \cdot OD} + \frac{AD \cdot AE}{OD \cdot OE} \cos \alpha$$

ossia $\cos a = \cos b \cos c + \operatorname{sen} b \operatorname{sen} c \cos \alpha .$

Digitized by Google

Provando in maniera somigliante il problema relativamente ai cos b e cos c, otteniamo le tre formule:

$$\left.\begin{aligned} \cos a &= \cos b \cos c + \operatorname{sen} b \operatorname{sen} c \cos \alpha \\ \cos b &= \cos a \cos c + \operatorname{sen} a \operatorname{sen} c \cos \beta \\ \cos c &= \cos a \cos b + \operatorname{sen} a \operatorname{sen} b \cos \gamma \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

220. — **Teorema II.** In ogni triangolo sferico il coseno di un angolo è uguale al prodotto *negativo* dei coseni degli altri due angoli, più il prodotto dei seni dei medesimi due angoli pel coseno del lato opposto al primo angolo [1] (Fig. 139); cioè

$$\cos \alpha = -\cos \beta \cos \gamma + \operatorname{sen} \beta \operatorname{sen} \gamma \cos a .$$

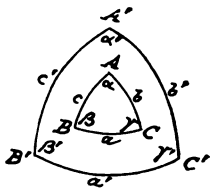


Fig. 139.

Sia $A'B'C'$ un triangolo polare o supplementare del $\triangle ABC$; allora secondo il teorema precedente sarà

$$\cos a' = \cos b' \cos c' + \operatorname{sen} b' \operatorname{sen} c' \cos \alpha'$$

Siccome però (num. 216)

$$a' = 180^\circ - \alpha , \; b' = 180^\circ - \beta , \; c' = 180^\circ - \gamma , \; \alpha' = 180^\circ - a;$$

sarà

$$\cos a' = -\cos \alpha; \; \cos b' = -\cos \beta; \; \cos c' = -\cos \gamma;$$
$$\cos \alpha = -\cos a; \; \operatorname{sen} b' = \operatorname{sen} \beta; \; \operatorname{sen} c' = \operatorname{sen} \gamma.$$

Sostituendo questi valori nella prima equazione avremo

$$-\cos \alpha = \cos \beta \cos \gamma + \operatorname{sen} \beta \operatorname{sen} \gamma (-\cos a).$$

Dunque

$$\cos \alpha = -\cos \beta \cos \gamma + \operatorname{sen} \beta \operatorname{sen} \gamma \cos a .$$

(1) Enunciato in questo modo, il teorema II è perfettamente analogo al primo.

Digitized by Google

Con simile deduzione, fatta rispetto agli angoli β e γ, avremo

$$\left.\begin{aligned} \cos\alpha &= -\cos\beta\cos\gamma + \operatorname{sen}\beta\operatorname{sen}\gamma\cos a \\ \cos\beta &= -\cos\alpha\cos\gamma + \operatorname{sen}\alpha\operatorname{sen}\gamma\cos b \\ \cos\gamma &= -\cos\alpha\cos\beta + \operatorname{sen}\alpha\operatorname{sen}\beta\cos c \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

221. — Teorema III. (ANALOGIA DEI SENI). [1] In ogni triangolo sferico i seni degli angoli stanno tra loro come i lati opposti (Fig. 140); cioè

$$\operatorname{sen}\alpha : \operatorname{sen}\beta : \operatorname{sen}\gamma = \operatorname{sen} a : \operatorname{sen} b : \operatorname{sen} c .$$

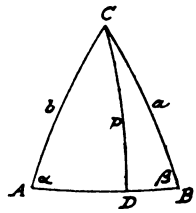


Fig. 140.

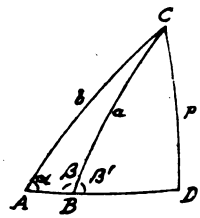


Fig. 141.

Per provare questo teorema, conduciamo per C un circolo massimo CD, perpendicolare ad AB; sia $CD = p$.

Allora (num. 218) sarà

$$\operatorname{sen}\alpha = \frac{\operatorname{sen} p}{\operatorname{sen} b} ; \quad \operatorname{sen}\beta = \frac{\operatorname{sen} p}{\operatorname{sen} a} .$$

Dunque $\operatorname{sen}\alpha : \operatorname{sen}\beta = \operatorname{sen} a : \operatorname{sen} b$.

Parimenti si prova

$$\operatorname{sen}\beta : \operatorname{sen}\gamma = \operatorname{sen} b : \operatorname{sen} c .$$

Dunque

$$\operatorname{sen}\alpha : \operatorname{sen}\beta : \operatorname{sen}\gamma = \operatorname{sen} a : \operatorname{sen} b : \operatorname{sen} c \quad (3)$$

NOTA. — Se uno degli angoli (α o β) è maggiore di 90°, il circolo perpendicolare CD (Fig. 141) incontra il prolungamento del terzo lato AB; essendo allora $\operatorname{sen}\beta' = \frac{\operatorname{sen} p}{\operatorname{sen} a} = \operatorname{sen}\beta$, il teorema resta provato nello stesso modo.

(1) **Analogia** significava una volta presso i matematici lo stesso che **proporzione**. Cfr. num. 228, 229.

Digitized by Google

222. — Teorema IV. In ogni triangolo sferico il prodotto dei coseni di un lato e di un angolo adiacente è uguale alla differenza dei loro seni, moltiplicati rispettivamente colla cotangente dell'altro lato, adiacente all'angolo, e dell'altro angolo, adiacente al lato (Fig. 142); cioè

$$\cos a \cos \beta = \operatorname{sen} a \operatorname{cotg} c - \operatorname{sen} \beta \operatorname{cotg} \gamma .$$

Dal teorema I (num. 218) abbiamo

$$\cos b = \cos a \cos c + \operatorname{sen} a \operatorname{sen} c \cos \beta$$
$$\cos c = \cos a \cos b + \operatorname{sen} a \operatorname{sen} b \cos \gamma$$

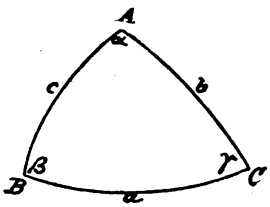


Fig. 142.

Sostituendo il valore di $\cos b$ della prima di queste equazioni nella seconda, abbiamo:

$$\cos c = \cos a (\cos a \cos c + \operatorname{sen} a \operatorname{sen} c \cos \beta) + \\ + \operatorname{sen} a \operatorname{sen} b \cos \gamma ;$$

$$= \cos^2 a \cos c + \operatorname{sen} a \cos a \operatorname{sen} c \cos \beta + \\ + \operatorname{sen} a \operatorname{sen} b \cos \gamma ;$$

$$\cos c (1 - \cos^2 a) = \cos c \operatorname{sen}^2 a = \operatorname{sen} a \cos a \operatorname{sen} c \cos \beta + \\ + \operatorname{sen} a \operatorname{sen} b \cos \gamma ;$$

dividendo per $\operatorname{sen} a$, sarà

$$\cos c \operatorname{sen} a = \cos a \operatorname{sen} c \cos \beta + \operatorname{sen} b \cos \gamma$$

dividendo per $\operatorname{sen} c$

$$\operatorname{cotg} c \operatorname{sen} a = \cos a \cos \beta + \frac{\operatorname{sen} b}{\operatorname{sen} c} \cos \gamma .$$

Siccome però secondo il III teorema $\dfrac{\operatorname{sen} b}{\operatorname{sen} c} = \dfrac{\operatorname{sen} \beta}{\operatorname{sen} \gamma}$,

risulta $\operatorname{cotg} c \operatorname{sen} a = \cos a \cos \beta + \operatorname{sen} \beta \operatorname{cotg} \gamma ;$

come **doveva dimostrarsi.**

Digitized by Google

Simili risultati otteniamo rispetto agli altri lati ed angoli, espressi nelle seguenti formole:

$$\left.\begin{array}{l}\cos a \cos \beta = \operatorname{sen} a \operatorname{cotg} c - \operatorname{sen} \beta \operatorname{cotg} \gamma \\ \cos b \cos \gamma = \operatorname{sen} b \operatorname{cotg} a - \operatorname{sen} \gamma \operatorname{cotg} \alpha \\ \cos c \cos \alpha = \operatorname{sen} c \operatorname{cotg} b - \operatorname{sen} \alpha \operatorname{cotg} \beta \end{array}\right\}$$

ovvero

$$\left.\begin{array}{l}\cos a \cos \gamma = \operatorname{sen} a \operatorname{cotg} b - \operatorname{sen} \gamma \operatorname{cotg} \beta \\ \cos b \cos \alpha = \operatorname{sen} b \operatorname{cotg} c - \operatorname{sen} \alpha \operatorname{cotg} \gamma \\ \cos c \cos \beta = \operatorname{sen} c \operatorname{cotg} a - \operatorname{sen} \beta \operatorname{cotg} \alpha \end{array}\right\} (4)$$

COROLLARII.

223. — COROLLARIO I. Pel **triangolo rettangolo** A B C (Fig. 143), nel quale un angolo (α) è un angolo retto, le

Fig. 143.

formole suddette si semplificano, essendo $\operatorname{sen} \alpha = 1$; $\cos \alpha = 0$; $\operatorname{cotg} \alpha = \dfrac{\cos \alpha}{\operatorname{sen} \alpha} = 0$.

Secondo i quattro teoremi esposti abbiamo

(1) $\cos a = \cos b \cos c + \operatorname{sen} b \operatorname{sen} c \cos \alpha$;
(2) $\cos \beta = -\cos \alpha \cos \gamma + \operatorname{sen} \alpha \operatorname{sen} \gamma \cos b$;
(3) $\operatorname{sen} a : \operatorname{sen} b = \operatorname{sen} \alpha : \operatorname{sen} \beta$;
(4) $\cos b \cos \gamma = \operatorname{sen} b \operatorname{cotg} a - \operatorname{sen} \gamma \operatorname{cotg} \alpha$.

Sostituendo per le funzioni di α i valori suddetti, otteniamo le seguenti quattro formole per il triangolo rettangolo:

Digitized by Google

$$\left.\begin{array}{l|l} \text{(I)}\ \cos a = \cos b \cos c & \textit{similmente} \\ \text{(II)}\ \cos \beta = \operatorname{sen} \gamma \cos b & \cos \gamma = \operatorname{sen} \beta \cos c \\ \text{(III)}\ \operatorname{sen} b = \operatorname{sen} a \operatorname{sen} \beta & \operatorname{sen} c = \operatorname{sen} a \operatorname{sen} \gamma \\ \text{(IV)}\ \cos b \cos \gamma = \operatorname{sen} b \operatorname{cotg} a & \cos c \cos \beta = \operatorname{sen} c \operatorname{cotg} a \end{array}\right\} \text{(A)}$$

Con piccola trasformazione delle formole II, III, IV, avremo:

$$\left.\begin{array}{l|l} \text{(I)}\ \cos a = \cos b \cos c & \textit{similmente} \\ \text{(II)}\ \cos b = \dfrac{\cos \beta}{\operatorname{sen} \gamma}; & \cos c = \dfrac{\cos \gamma}{\operatorname{sen} \beta}; \\ \text{(III)}\ \operatorname{sen} \beta = \dfrac{\operatorname{sen} b}{\operatorname{sen} a}; & \operatorname{sen} \gamma = \dfrac{\operatorname{sen} c}{\operatorname{sen} a}; \\ \text{(IV)}\ \cos \gamma = \operatorname{tg} b \operatorname{cotg} a = \dfrac{\operatorname{tg} b}{\operatorname{tg} a} & \cos \beta = \operatorname{tg} c \operatorname{cotg} a = \dfrac{\operatorname{tg} c}{\operatorname{tg} a} \end{array}\right\} \text{(B)}$$

Essendo talvolta vantaggioso, di avere l'angolo espresso piuttosto in funzione della sua tangente, combinando le formole B (III) e A (II), si ottiene $\operatorname{tg} \beta = \dfrac{\operatorname{sen} \beta}{\cos \beta} = \dfrac{\operatorname{sen} b}{\operatorname{sen} a} : \operatorname{sen} \gamma \cos b$. Badando inoltre alle equazioni A (III), si deducono le formole

$$\text{(V)} \quad \begin{cases} \operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} b : \operatorname{sen} a \operatorname{sen} \gamma = \dfrac{\operatorname{tg} b}{\operatorname{sen} c} \\ \operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} c : \operatorname{sen} a \operatorname{sen} \beta = \dfrac{\operatorname{tg} c}{\operatorname{sen} b} \end{cases}$$

Sostituendo finalmente i valori di $\cos b$ e $\cos c$ delle equazioni B (II) nella equazione (I), otteniamo

$$\text{(VI)} \quad \cos a = \frac{\cos \beta}{\operatorname{sen} \gamma} \cdot \frac{\cos \gamma}{\operatorname{sen} \beta} = \operatorname{cotg} \beta \operatorname{cotg} \gamma .$$

224. — Corollario II. Al **calcolo logaritmico** sono più adattate quelle formole, nelle quali non occorrono addizioni e sottrazioni. Essendo d'altronde frequentissimo l'uso della formola (1) num. 219, cioè

$$\cos a = \cos b \cos c + \operatorname{sen} b \operatorname{sen} c \cos \alpha .$$

Digitized by Google

per eliminare questo inconveniente, essa si trasforma in questo modo:

Secondo una delle note formole (di trigonometria piana) abbiamo

$$1 - \cos\alpha = 2\,\mathrm{sen}^2\frac{\alpha}{2};$$

sostituendo il valore di $\cos\alpha$, avremo

$$1 - \frac{\cos a - \cos b\cos c}{\mathrm{sen}\,b\,\mathrm{sen}\,c} = \frac{\mathrm{sen}\,b\,\mathrm{sen}\,c - \cos a + \cos b\cos c}{\mathrm{sen}\,b\,\mathrm{sen}\,c}$$

ossia

$$\frac{(\mathrm{sen}\,b\,\mathrm{sen}\,c + \cos b\cos c) - \cos a}{\mathrm{sen}\,b\,\mathrm{sen}\,c} = \\ = \frac{\cos(b-c) - \cos a}{\mathrm{sen}\,b\,\mathrm{sen}\,c} = 2\,\mathrm{sen}^2\frac{\alpha}{2};$$

applicando un' altra formola generale, secondo la quale

$$\cos x - \cos y = 2\,\mathrm{sen}\frac{x+y}{2}\cdot\mathrm{sen}\frac{y-x}{2},$$

avremo

$$\frac{2\,\mathrm{sen}\frac{1}{2}[b-c+a]\cdot\mathrm{sen}\frac{1}{2}[a-(b-c)]}{\mathrm{sen}\,b\,\mathrm{sen}\,c} = 2\,\mathrm{sen}^2\frac{\alpha}{2};$$

ossia

$$\left.\begin{aligned} \mathrm{sen}^2\frac{\alpha}{2} &= \frac{\mathrm{sen}\frac{1}{2}(a+b-c)\cdot\mathrm{sen}\frac{1}{2}(a+c-b)}{\mathrm{sen}\,b\,\mathrm{sen}\,c} \\ \text{Similmente si trova:} \\ \mathrm{sen}^2\frac{\beta}{2} &= \frac{\mathrm{sen}\frac{1}{2}(a+b-c)\cdot\mathrm{sen}\frac{1}{2}(b+c-a)}{\mathrm{sen}\,a\,\mathrm{sen}\,c} \\ \mathrm{sen}^2\frac{\gamma}{2} &= \frac{\mathrm{sen}\frac{1}{2}(b+c-a)\cdot\mathrm{sen}\frac{1}{2}(a+c-b)}{\mathrm{sen}\,a\,\mathrm{sen}\,b} \end{aligned}\right\} \quad (\mathrm{I})$$

Digitized by Google

Operando come sopra, ma cominciando dalla formola generale $1 + \cos\alpha = 2\cos^2\frac{\alpha}{2}$, si ottengono formole simili pel Coseno:

$$\left.\begin{aligned}
\cos^2\frac{\alpha}{2} &= \frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b+c)\cdot\operatorname{sen}\frac{1}{2}(b+c-a)}{\operatorname{sen} b \operatorname{sen} c} \\
\cos^2\frac{\beta}{2} &= \frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b+c)\cdot\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+c-b)}{\operatorname{sen} a \operatorname{sen} c} \\
\cos^2\frac{\gamma}{2} &= \frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b+c)\cdot\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b-c)}{\operatorname{sen} a \operatorname{sen} b}
\end{aligned}\right\} \text{(II)}$$

Dividendo finalmente le formole (I) per (II), avremo una espressione della *Tangente*:

$$\left.\begin{aligned}
\operatorname{tang}^2\frac{\alpha}{2} &= \frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b-c)\cdot\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+c-b)}{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b+c)\cdot\operatorname{sen}\frac{1}{2}(b+c-a)} \\
\operatorname{tang}^2\frac{\beta}{2} &= \frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b-c)\cdot\operatorname{sen}\frac{1}{2}(b+c-a)}{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b+c)\cdot\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+c-b)} \\
\operatorname{tang}^2\frac{\gamma}{2} &= \frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(b+c-a)\cdot\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+c-b)}{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b+c)\cdot\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b-c)}
\end{aligned}\right\} \text{(III)}$$

Per semplificare vieppiù queste formole, poniamo

$$\left.\begin{aligned}
a+b+c &= 2s \\
a+b-c &= 2s-2c \\
a+c-b &= 2s-2b \\
b+c-a &= 2s-2a
\end{aligned}\right\} \text{conseguentemente} \quad \left\|\begin{aligned}
\tfrac{1}{2}(a+b+c) &= s \\
\tfrac{1}{2}(a+b-c) &= s-c \\
\tfrac{1}{2}(a+c-b) &= s-b \\
\tfrac{1}{2}(b+c-a) &= s-a
\end{aligned}\right.$$

Digitized by Google

Sostituendo questi valori nelle formole precedenti (I), (II), (III), notiamo soltanto i risultati per l'angolo α; avremo poi

$$\left.\begin{array}{ll} \operatorname{sen}^2\frac{\alpha}{2}=\frac{\operatorname{sen}(s-b)\operatorname{sen}(s-c)}{\operatorname{sen} b\operatorname{sen} c} & \operatorname{sen}\frac{\alpha}{2}=\sqrt{\frac{\operatorname{sen}(s-b)\operatorname{sen}(s-c)}{\operatorname{sen} b\operatorname{sen} c}} \\ \cos^2\frac{\alpha}{2}=\frac{\operatorname{sen} s\operatorname{sen}(s-a)}{\operatorname{sen} b\operatorname{sen} c} & \cos\frac{\alpha}{2}=\sqrt{\frac{\operatorname{sen} s\operatorname{sen}(s-a)}{\operatorname{sen} b\operatorname{sen} c}} \\ \operatorname{tg}^2\frac{\alpha}{2}=\frac{\operatorname{sen}(s-b)\operatorname{sen}(s-c)}{\operatorname{sen} s\operatorname{sen}(s-a)} & \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}=\sqrt{\frac{\operatorname{sen}(s-b)\operatorname{sen}(s-c)}{\operatorname{sen} s\operatorname{sen}(s-a)}} \end{array}\right\} \text{(IV)}$$

225. — Con metodo identico si trasformano le formole (2) del II teorema (num. 220). Basta quindi scrivere i risultati rispetto al solo lato a, che per la loro simmetria facilmente si applicano agli altri lati:

$$\left.\begin{array}{l} \operatorname{sen}^2\frac{a}{2}=\dfrac{-\cos\frac{1}{2}(\alpha+\beta+\gamma)\cdot\cos\frac{1}{2}(\beta+\gamma-\alpha)}{\operatorname{sen}\beta\cdot\operatorname{sen}\gamma} \\ \cos^2\frac{a}{2}=\dfrac{\cos\frac{1}{2}(\alpha+\gamma-\beta)\cdot\cos\frac{1}{2}(\alpha+\beta-\gamma)}{\operatorname{sen}\beta\cdot\operatorname{sen}\gamma} \\ \operatorname{tg}^2\frac{\alpha}{2}=\dfrac{-\cos\frac{1}{2}(\alpha+\beta+\gamma)\cdot\cos\frac{1}{2}(\beta+\gamma-\alpha)}{\cos\frac{1}{2}(\alpha+\gamma-\beta)\cdot\cos\frac{1}{2}(\alpha+\beta-\gamma)} \end{array}\right\} \text{(V)}$$

Ovvero supponendo $\alpha+\beta+\gamma=2\sigma$

$$\left.\begin{array}{ll} \operatorname{sen}^2\frac{a}{2}=\frac{-\cos\sigma\cos(\sigma-\alpha)}{\operatorname{sen}\beta\operatorname{sen}\gamma} & \operatorname{sen}\frac{a}{2}=\sqrt{\frac{-\cos\sigma\cos(\sigma-\alpha)}{\operatorname{sen}\beta\operatorname{sen}\gamma}} \\ \cos^2\frac{a}{2}=\frac{\cos(\sigma-\beta)\cos(\sigma-\gamma)}{\operatorname{sen}\beta\operatorname{sen}\gamma} & \cos\frac{a}{2}=\sqrt{\frac{\cos(\sigma-\beta)\cos(\sigma-\gamma)}{\operatorname{sen}\beta\operatorname{sen}\gamma}} \\ \operatorname{tg}^2\frac{a}{2}=\frac{-\cos\sigma\cos(\sigma-\alpha)}{\cos(\sigma-\beta)\cos(\sigma-\gamma)} & \operatorname{tg}\frac{a}{2}=\sqrt{\frac{-\cos\sigma\cos(\sigma-\alpha)}{\cos(\sigma-\beta)\cos(\sigma-\gamma)}} \end{array}\right\} \text{(VI)}$$

226. — COROLLARIO III. L'esattezza del risultato talvolta dipende dalla funzione, mediante la quale esso si ottiene; si cercano perciò espressioni dello stesso angolo non soltanto

Digitized by Google

per mezzo del seno, ma ancora del coseno, e della tangente.

Il **Seno** di un angolo piccolo varia sensibilmente col variare dell'arco (angolo) col quale è quasi identico; quando però l'angolo si avvicina a 90°, un cambiamento sensibile dell'arco, appena apparisce nel seno.

Pel **Coseno** tutto accade a rovescio; cercando quindi un angolo piccolo, si adopera meglio la formola del *seno*; cercando un angolo che si avvicina ad un angolo retto, si adopera più vantaggiosamente la formola del *coseno*.

Essendo $\operatorname{tang}\alpha = \frac{\operatorname{sen}\alpha}{\cos\alpha}$, i vantaggi e disvantaggi si compensano, se adoperiamo la formola delle **Tangenti**.

Abbiamo per es.:

$$\left.\begin{array}{l}\operatorname{sen} 1^\circ\,0' = \cos 89^\circ\ 0' = 0{,}017452\\ \operatorname{sen} 1^\circ\,1' = \cos 88^\circ\,59' = 0{,}017743\end{array}\right\}\ \text{Differenza} = 0{,}000291$$

$$\left.\begin{array}{l}\cos 1^\circ\,0' = \operatorname{sen} 89^\circ\ 0' = 0{,}999848\\ \cos 1^\circ\,1' = \operatorname{sen} 88^\circ\,59' = 0{,}999848\end{array}\right\}\ \text{Differenza} = 0\,.$$

L'esattezza del risultato inoltre dipenderà dalle **tavole logaritmiche**, che si adoperano nel calcolo:

Tavole con sette o più cifre decimali forniscono ancora *il decimo di un secondo* (di arco).

Tavole con 5 cifre decimali danno un risultato esatto fino a 5″.

Chi si contenta di un risultato tra i limiti di più o meno 10′, può adoperare anche delle tavole con tre decimali soltanto.

227. — Corollario IV. Un esempio pratico ci darà allo stesso tempo uno **Schema del calcolo**, non senza importanza pei principianti, affinchè procedano con ordine, speditezza e sicurezza.

Di un triangolo sferico (Fig. 144) siano dati i tre lati a, b, c, si cerca l'angolo α opposto ad a.

$$\begin{array}{rl} a = & 70^\circ\,14'\,20'' \\ b = & 49^\circ\,24'\,10'' \\ c = & 38^\circ\,46'\,10'' \\ \hline 2s = & 158^\circ\,24'\,40'' \\ \\ s = & 79^\circ\,12'\,20'' \end{array} \qquad \begin{array}{rl} s - a = & 8^\circ\,58'\,0'' \\ s - b = & 29^\circ\,48'\,10'' \\ s - c = & 40^\circ\,26'\,10'' \\ \hline s = & 79^\circ\,12'\,20''. \end{array}$$

Verifica, essendo

$$3s - (a + b + c) = 3s - 2s = s$$

Digitized by Google

Adoperando la formola IV (3) del num. 224

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{\operatorname{sen}(s-b)\cdot\operatorname{sen}(s-c)}{\operatorname{sen} s\cdot\operatorname{sen}(s-a)}}\ ;$$

$$\log\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2}[\log\operatorname{sen}(s-b) + \log\operatorname{sen}(s-c) - (\log\operatorname{sen} s + \log\operatorname{sen}(s-a))]$$

$\log\operatorname{sen}(s-b)$	$= 9{,}6963704$	$\log\operatorname{sen} s$	$= 9{,}9922465$
$\log\operatorname{sen}(s-c)$	$= 9{,}8119768$	$\log\operatorname{sen}(s-a)$	$= 9{,}1927342$
I Somma	$= 9{,}5083472$	II Somma	$= 9{,}1849807$
II »	$= 9{,}1849807$		
Differenza (I–II)	$= 0{,}3233665$		

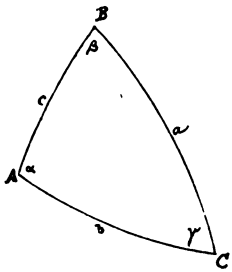


Fig. 144.

Semidifferenza $= 0{,}1616832 = \log\operatorname{tang}\frac{\alpha}{2}$.

$$\frac{\alpha}{2} = 55^\circ\,25'\,38''\ ;\ \alpha = 110^\circ\,51'\,16''.$$

Colle formole analoghe $\operatorname{tg}\frac{\beta}{2}$, $\operatorname{tg}\frac{\gamma}{2}$ (num. 223), si trovano più facilmente gli angoli β e γ, essendo che i logaritmi occorrenti $\operatorname{sen} s$, $\operatorname{sen}(s-a)$, $\operatorname{sen}(s-b)$, $\operatorname{sen}(s-c)$ già sono tutti trovati. Il risultato sarebbe

$\log\operatorname{tg}\frac{\beta}{2} = 9{,}6580470$	$\frac{\beta}{2} = 24^\circ\,28'\,2''$	$\beta = 48^\circ\,56'\,4''$
$\log\operatorname{tg}\frac{\gamma}{2} = 9{,}5424406$	$\frac{\gamma}{2} = 19^\circ\,13'\,24''$	$\gamma = 38^\circ\,26'\,48''$

Digitized by Google

CAPITOLO IV.

FORMOLE DI GAUSS ED ANALOGIE DI NAPIER.

228. — I celebri matematici NAPIER (Scozzese, † 1617) e GAUSS († in Göttingen 1855) hanno stabilito altre formole, contenenti tutti i sei elementi di un triangolo sferico, le quali per compimento del capitolo precedente vogliamo qui brevemente dedurre.(1)

Dalle note formole trigonometriche abbiamo

$$\operatorname{sen}\frac{1}{2}(\alpha-\beta)=\operatorname{sen}\frac{\alpha}{2}\cos\frac{\beta}{2}-\cos\frac{\alpha}{2}\operatorname{sen}\frac{\beta}{2}.$$

Sostituendo i valori (I) e (II) num. 224

$$\operatorname{sen}\tfrac{1}{2}(\alpha-\beta)=$$

$$=\sqrt{\frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b-c)\cdot\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+c-b)}{\operatorname{sen}b\operatorname{sen}c}}\cdot\sqrt{\frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b+c)\cdot\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+c-b)}{\operatorname{sen}a\operatorname{sen}c}}-$$

$$-\sqrt{\frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b+c)\cdot\operatorname{sen}\frac{1}{2}(b+c-a)}{\operatorname{sen}b\operatorname{sen}c}}\cdot\sqrt{\frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b-c)\cdot\operatorname{sen}\frac{1}{2}(b+c-a)}{\operatorname{sen}a\operatorname{sen}c}};$$

$$\operatorname{sen}\tfrac{1}{2}(\alpha-\beta)=\frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+c-b)}{\operatorname{sen}c}\cdot\sqrt{\frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b+c)\cdot\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b-c)}{\operatorname{sen}a\operatorname{sen}b}}-$$

$$-\frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(b+c-a)}{\operatorname{sen}c}\cdot\sqrt{\frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b+c)\cdot\operatorname{sen}(a+b-c)}{\operatorname{sen}a\operatorname{sen}b}};$$

ossia

$$\left.\begin{aligned}&\operatorname{sen}\tfrac{1}{2}(\alpha-\beta)=\\&=\left[\frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+c-b)}{\operatorname{sen}c}-\frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(b+c-a)}{\operatorname{sen}c}\right]\cdot\sqrt{\frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b+c)\cdot\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b-c)}{\operatorname{sen}a\operatorname{sen}b}}\end{aligned}\right\}\quad(\mathbf{A})$$

(1) Pare che le formole, indipendentemente trovate dal Gauss ed ordinariamente citate col suo nome, fossero state adoperate due anni prima dal Delambre (insigne astronomo francese † 1822), donde gli autori francesi sogliono chiamarle piuttosto formole di Delambre.

Digitized by Google

Ora ponendo $x = a + c - b$; $y = b + c - a$, e ricordando che

$$\operatorname{sen} x - \operatorname{sen} y = 2 \cos \frac{x+y}{2} \cdot \operatorname{sen} \frac{x-y}{2} ;$$

troviamo

$$\operatorname{sen} \frac{1}{2}(a+c-b) - \operatorname{sen} \frac{1}{2}(b+c-a) =$$
$$= 2 \cos \frac{1}{2}\left[\frac{a+c-b+b+c-a}{2}\right] \cdot \operatorname{sen} \frac{1}{2}\left[\frac{a+c-b-b-c+a}{2}\right]$$
$$= 2 \cos \frac{c}{2} \cdot \operatorname{sen} \frac{a-b}{2} .$$

Inoltre sapendo che

$$\operatorname{sen} c = 2 \operatorname{sen} \frac{c}{2} \cdot \cos \frac{c}{2} ; \quad \text{quindi} \quad \frac{2 \cos \frac{c}{2}}{\operatorname{sen} c} = \frac{1}{\operatorname{sen} \frac{c}{2}} ,$$

sostituendo questi valori nell'equazione (A) avremo:

$$\operatorname{sen} \frac{1}{2}(\alpha - \beta) = \frac{\operatorname{sen} \frac{1}{2}(a-b)}{\operatorname{sen} \frac{c}{2}} \cdot \sqrt{\frac{\operatorname{sen} \frac{1}{2}(a+b+c) \cdot \operatorname{sen} \frac{1}{2}(a+b-c)}{\operatorname{sen} a \operatorname{sen} b}} .$$

L'ultimo fattore $\sqrt{\ }$ ecc. [secondo (II), num. 224] è uguale a $\cos \frac{\gamma}{2}$; dunque

$$\operatorname{sen} \frac{1}{2}(\alpha - \beta) \cdot \operatorname{sen} \frac{c}{2} = \operatorname{sen} \frac{1}{2}(a-b) \cdot \cos \frac{\gamma}{2} .$$

Con simili deduzioni si ottengono le altre *formole di Gauss*, le quali riassumiamo nel seguente quadro:

Digitized by Google

$$(1)\ \operatorname{sen}\frac{1}{2}(\alpha-\beta)\cdot\operatorname{sen}\frac{c}{2}=\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a-b)\cdot\cos\frac{\gamma}{2}$$

$$(2)\ \cos\frac{1}{2}(\alpha-\beta)\cdot\operatorname{sen}\frac{c}{2}=\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b)\cdot\operatorname{sen}\frac{\gamma}{2}$$

$$(3)\ \operatorname{sen}\frac{1}{2}(\alpha+\beta)\cdot\cos\frac{c}{2}=\cos\frac{1}{2}(a-b)\cdot\cos\frac{\gamma}{2}$$

$$(4)\ \cos\frac{1}{2}(\alpha+\beta)\cdot\cos\frac{c}{2}=\cos\frac{1}{2}(a+b)\cdot\operatorname{sen}\frac{\gamma}{2}$$

} GAUSS

229. — Dividendo le formole precedenti (1) per (2), (3) per (4), (1) per (3), (2) per (4), otteniamo immediatamente le Analogie seguenti:

$$(I)\ \operatorname{tg}\frac{1}{2}(\alpha-\beta)=\frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a-b)}{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(a+b)}\cdot\operatorname{cotg}\frac{\gamma}{2}$$

$$(II)\ \operatorname{tg}\frac{1}{2}(\alpha+\beta)=\frac{\cos\frac{1}{2}(a-b)}{\cos\frac{1}{2}(a+b)}\cdot\operatorname{cotg}\frac{\gamma}{2}$$

$$(III)\ \operatorname{tg}\frac{1}{2}(a-b)=\frac{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(\alpha-\beta)}{\operatorname{sen}\frac{1}{2}(\alpha+\beta)}\cdot\operatorname{tg}\frac{c}{2}$$

$$(IV)\ \operatorname{tg}\frac{1}{2}(a+b)=\frac{\cos\frac{1}{2}(\alpha-\beta)}{\cos\frac{1}{2}(\alpha+\beta)}\cdot\operatorname{tg}\frac{c}{2}$$

} NAPIER

Digitized by Google

CAPITOLO V.

ALCUNE APPLICAZIONI DELLE FORMOLE PRECEDENTI.

ART. I. — RICERCA DELL'ANGOLO ORARIO DI UN ASTRO QUALUNQUE.

Problema. Misurata l'altezza [1] di un astro di coordinate equatoriali conosciute, si cerca l'angolo orario.

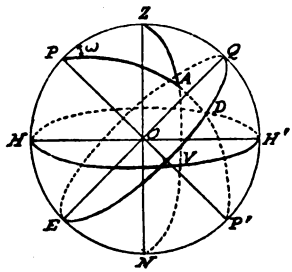


Fig. 145.

230. Il Circolo P Z Q (Fig. 145) rappresenti una sezione meridiana della Sfera celeste al momento dell'osservazione, P rappresenti il polo, Z lo zenit, Q un punto dell'equatore, Z V N un circolo verticale per l'astro A, P D P' il circolo di declinazione del medesimo.

Il triangolo sferico coi vertici in A P Z è di uso frequentissimo nell'astronomia, cosicchè viene talvolta semplicemente chiamato **triangolo astronomico.** I suoi lati sono

A P $= \delta' =$ codeclinazione dell'astro		$= 90° - \delta$
A Z $= \alpha' =$ coaltezza	»	$= 90° - \alpha$
P Z $= \varphi' =$ collatitudine (geografica)		$= 90° - \varphi$

I suoi angoli sono:

- ⋋ P A Z chiamato *angolo parallattico*
- ⋋ P Z A supplemento dell'*azimut* (assoluto)
- ⋋ A P Z $= \omega$, detto *angolo orario.*

Il problema si riduce a questo: In un triangolo sferico A P Z sono dati i tre lati A Z $= \alpha'$, A P $= \delta'$, P Z $= \varphi'$, si cerca l'angolo ω opposto al primo lato.

(1) Che supponiamo già corretta dall'errore della rifrazione atmosferica, della quale tratteremo nel capitolo I della parte V.

Digitized by Google

Adoperando la formola generale (1) num. 219

$$\cos a = \cos b \cos c + \operatorname{sen} b \operatorname{sen} c \cos \alpha ,$$

ossia
$$\cos \alpha = \frac{\cos a - \cos b \cos c}{\operatorname{sen} b \operatorname{sen} c} ;$$

ed applicandola al caso nostro, avremo

$$\cos \omega = \frac{\cos \alpha' - \cos \delta' \cos \varphi'}{\operatorname{sen} \delta' \operatorname{sen} \varphi'} = \frac{\operatorname{sen} \alpha - \operatorname{sen} \delta \operatorname{sen} \varphi}{\cos \delta \cos \varphi} ,$$

per mezzo della quale otteniamo l'angolo ω.

Meglio però, per le ragioni ivi esposte, si adopera la formola IV (3) del num. 224

$$\operatorname{tang} \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{\operatorname{sen} (s - b) \cdot \operatorname{sen} (s - c)}{\operatorname{sen} s \cdot \operatorname{sen} (s - a)}} ;$$

che nel caso nostro si rappresenterebbe sotto la forma

$$\operatorname{tang} \frac{\omega}{2} = \sqrt{\frac{\operatorname{sen} (s - \delta') \cdot \operatorname{sen} (s - \varphi')}{\operatorname{sen} s \cdot \operatorname{sen} (s - \alpha')}} ;$$

essendo
$$s = \frac{1}{2} (\alpha' + \delta' + \varphi') .$$

231. — Siano per esempio gli angoli complementari

$$\alpha = 19^\circ\, 45'\, 40'' \quad \| \quad \delta = 51^\circ\, 13'\, 50'' \quad \| \quad \varphi = 40^\circ\, 35'\, 50''$$
$$\alpha' = 70^\circ\, 14'\, 20'' \quad \| \quad \delta' = 38^\circ\, 46'\, 10'' \quad \| \quad \varphi' = 49^\circ\, 24'\, 10''$$

allora avremo gli stessi dati dell'esempio numerico, svolto di sopra al num. 227. Si otterrebbe $\omega = 110^\circ\, 51'\, 16'' = 7^h\, 23^m\, 25^s,07$.

Conosciamo le coordinate equatoriali dell'astro; l'*ascensione retta* sia $a = 1^h\, 30^m\, 45^s,43$. Inoltre supponiamo che l'altezza sia stata misurata dopo la culminazione della stella; allora sommando insieme l'ascensione retta a e l'angolo orario ω, risulterà l'*angolo orario del punto d'Ariete*, ossia il **tempo siderale** t_*, essendo $t_* = a + \omega = 8^h\, 54^m\, 10^s,50$ per il momento dell'osservazione.

Digitized by Google

Generalmente si suole contare l'angolo orario, come il tempo (sidereo) dal meridiano verso Ovest, da 0° a 360°, ossia da 0^h a 24^h. Conseguentemente se l'osservazione fosse stata fatta prima della culminazione (superiore) dell'astro, l'angolo trovato (ω) sarebbe da sottrarsi da 360° ossia da 24^h, per avere l'angolo orario $\omega' = 249° 8' 44'' = 16^h\ 36^m\ 34^s,93$. Secondo la formola generale $t_* = a + \omega'$ si trova il tempo sidereo $t_* = 18^h\ 7^m\ 20^s,36$.

Trovato questo, le effemeridi astronomiche somministrano i dati necessari, per trovare il tempo solare (vero o medio, locale o particolare).

232. — Se si misura nella maniera esposta (per mezzo del Sestante) l'altezza del Sole, l'angolo orario ci dà immediatamente l'**ora solare** (tempo solare vero), corrispondente al meridiano del luogo di osservazione, che poi mediante l'equazione del tempo (num. 111) si cambia facilmente in tempo solare medio locale, e finalmente in tempo solare medio di un altro meridiano qualunque. In Roma, per esempio, basta aggiungere circa 10 minuti al tempo medio locale. per avere il tempo solare medio dell'Europa centrale (num. 82).

ART. II. — NASCERE E TRAMONTARE DEGLI ASTRI. RICERCA DELL'ARCO SEMIDIURNO.

233. — **Problema.** Date le coordinate equatoriali di un astro qualunque, trovare il momento del suo nascere e tramontare per un orizzonte qualunque.

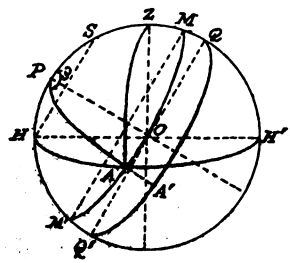


Fig. 146.

Per il moto apparente della sfera celeste tutti gli astri descrivono circoli paralleli all' equatore, così l'astro A (ritenendo la stessa nomenclatura del problema precedente) dopo il suo passaggio al meridiano in M (Fig. 146) arriverà finalmente all'orizzonte, dove tramonta. Conduciamo per A il circolo di declinazione PAA', che incontri l'equatore in A'. L'arco equatoriale A'Q, misurato dall'angolo orario corrispondente ω,

Digitized by Google

chiamasi **arco semidiurno**; perchè se aggiungiamo l'altra metà, che abbraccia l'arco percorso dal levare fino alla culminazione, avremo l'*arco diurno*, ossia l'arco che indica, quanto tempo l'astro rimane sopra l'orizzonte di quel luogo, di cui l'altezza polare H P, ossia la latitudine geografica Z Q è uguale a φ.

$A A' = \delta$ sia la declinazione dell'astro, α la sua ascensione retta. Costruendo il circolo verticale A Z, avremo di nuovo un triangolo sferico A P Z, del quale sono noti i tre lati:
$A P = \delta' = 90^\circ - \delta$, $A Z = 90^\circ$, $P Z = \varphi' = 90^\circ - \varphi$.
Si cerca $\measuredangle A P Z = \omega$.

La formola generale (1) num. 219

$$\cos \alpha = \frac{\cos a - \cos b \cos c}{\operatorname{sen} b \operatorname{sen} c},$$

applicata al nostro caso, diventa

$$\cos \omega = \frac{\cos 90^\circ - \cos \delta' \cos \varphi'}{\operatorname{sen} \delta' \operatorname{sen} \varphi'} = \frac{-\operatorname{sen} \delta \operatorname{sen} \varphi}{\cos \delta \cos \varphi}$$

dunque

$$\cos \omega = -\operatorname{tang} \delta \operatorname{tang} \varphi . \qquad (1)$$

L'ascensione retta dell'astro somministra il tempo sidereo del suo passaggio al meridiano; sottraendo l'arco semidiurno ω, avremo il tempo (sidereo) del levare, aggiungendo ω, avremo l'ora (siderale) del tramonto.

234. — *Discussione.* Il segno negativo del secondo membro indica che l'angolo ω sarà maggiore di 90°, ossia che l'astro rimane più di sei ore sopra l'orizzonte, dopo il suo passaggio al meridiano, come è veramente il caso quando la sua *declinazione è boreale*, cioè positiva, e quando il luogo di osservazione si trova nell' emisfero boreale della Terra, cioè quando anche φ è positivo.

Lo stesso però vale, se anche δ e φ hanno valore negativo.

La formola infatti contiene tutte le variazioni possibili di δ e φ.[1]

(1) Tutte queste deduzioni si mettono facilmente sott'occhio per mezzo della Sfera armillare o di un globo celeste (num. 45, 46).

Digitized by Google

1. Supponiamo, per esempio, una stella equatoriale, osservata in una latitudine geografica qualunque, allora sarà $\delta = 0$, quindi

$$\cos \omega = 0 \; ; \quad \omega = 90^\circ \; ;$$

cioè la stella resta 12 ore sopra un orizzonte qualunque.

2. Sia il luogo di osservazione sull'equatore (terrestre), cioè $\varphi = 0$, qualunque allora sia la declinazione δ della stella, sarà

$$\cos \omega = 0 \; ; \quad \omega = 90^\circ$$

tutte le stelle rimangono 12 ore al disopra dell'orizzonte.

3. Ai poli terrestri avremo

$$\varphi = \pm 90^\circ \; ; \quad \operatorname{tang} \varphi = \pm \infty$$

cos ω avrebbe un valore infinito, immaginario, cioè le stelle non si levano, nè tramontano.

4. Per una stella australe, osservata nell'emisfero boreale della Terra, sarebbero δ negativo, φ positivo, e viceversa per una stella boreale, osservata nell'emisfero australe, δ positivo, φ negativo:

In ambedue i casi cos ω sarà positivo, quindi $\omega < 90^\circ$, cioè la stella, dopo la sua culminazione, tramonta prima che siano trascorse sei ore.

5. Finalmente supponiamo che φ e δ siano angoli complementari, cioè $\varphi = HP = 90^\circ - \delta = 90^\circ - Q'H$; come nella figura nostra sarebbe il caso di una stella S, che tocca l'orizzonte in H ; allora sarà

$$\operatorname{tang} \delta = \operatorname{cotg} \varphi = \frac{1}{\operatorname{tang} \varphi} \; ;$$

quindi

$$\cos \omega = - \frac{\operatorname{tang} \varphi}{\operatorname{tang} \varphi} = -1 \; ; \quad \omega = 180^\circ \; ;$$

l'arco diurno sarebbe uguale a 360°, cioè la stella tocca l'orizzonte, ma non tramonta.

Digitized by Google

235. — *Avvertenze.* Il problema, discusso così nelle sue linee generali, perde un poco della sua semplicità, quando si tiene conto della rifrazione atmosferica, la quale, aumentando l'altezza apparente di un astro, specialmente presso l'orizzonte, accelera il tempo del Levare e ritarda quello del Tramonto. Di questo tratteremo nel capitolo I della seguente parte V.

Inoltre quando l'astro in questione non è una stella fissa, ma un astro dotato di moto proprio come i pianeti, il Sole o la Luna, allora bisogna tener conto del cambiamento che subiscono le due coordinate equatoriali nell'intervallo di tempo tra la culminazione ed il Levare e Tramontare.

Corollario. — Apparente disuguaglianza degli archi semidiurni solari.

236. — Per lo stesso luogo di osservazione sulla Terra l'ultimo termine dell'equazione generale ($\cos\omega = -\operatorname{tang}\delta \operatorname{tang}\varphi$), cioè $\operatorname{tang}\varphi$ resta costante. Quindi crescendo la $\operatorname{tang}\delta$ col crescere dell'angolo δ, cresce pure il (negativo) $\cos\omega$, i giorni (trattandosi del Sole) diventano più lunghi; viceversa, decrescendo δ, le giornate si accorciano. Quest'incremento delle giornate dovrebbe sensibilmente essere lo stesso la mattina e la sera, crescendo simultaneamente il semiarco antemeridiano e pomeridiano. Invece consultando il Calendario ovvero l'esperienza, si può facilmente accertare che, per esempio in Roma, dal 3 novembre al 25 dicembre i giorni diminuiscono la mattina di circa 50 minuti, mentre la sera si nota un'anticipazione del tramonto di meno di 20 minuti; dopo il 25 dicembre al 3 febbraio si nota il contrario: la mattina il Sole si leva il 3 febbraio soltanto 13 minuti prima del tempo che levossi il 25 dicembre, mentre tramonta più di 40 minuti più tardi di prima.

La soluzione di questa difficoltà sta in ciò, che il tempo notato nel Calendario ed indicato dal nostro orologio, è il tempo *solare medio* e non il tempo *solare vero*. Questo spostamento dell'incremento degli archi semidiurni è dovuto alla *Meridiana media* (num. 112), che divide il giorno in due parti disuguali, ora spostandosi verso Est, ora verso Ovest. Viene poi aumentata ancora la disuguaglianza da una costante quantità, se invece del tempo medio locale adoperiamo il tempo d'un altro Meridiano (dell'Europa centrale).

Digitized by Google

Art. III. — Determinazione del Crepuscolo.

237. — Prenozioni: Col problema precedente è intimamente connesso quello del crepuscolo. Arrivato cioè il lembo superiore del Sole all'orizzonte, la mattina finisce e la sera comincia quella luce chiaroscura dubbia,[1] che per qualche tempo forma un intervallo determinabile tra l'oscurità (perfetta) della notte ed il chiarore del giorno.

Si distingue il **crepuscolo civile** dal crepuscolo astronomico. Durante il primo, cioè finchè il Sole sia sceso circa 6° o 7° sotto l'orizzonte, la luce è ancora sufficiente per continuare gli ordinari lavori artistici; cominciano a farsi vedere le stelle di I e II grandezza. Il **crepuscolo astronomico** invece termina, allora che le ultime tracce della luce solare, riflessa dal cielo, sono scomparse, e tutte le stelle (fino alla VI grandezza, visibili ad occhio nudo) si fanno vedere. Ciò accade generalmente quando il Sole si trova 18° sotto l'orizzonte; perchè l'esperienza mostra, che allora le ultime particelle dell'atmosfera, capaci a riflettere la luce solare verso di noi, scendono sotto l'orizzonte.

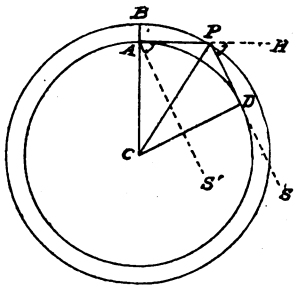


Fig. 147.

238. — Il circolo A D (Fig. 147) rappresenti il globo della Terra, B P lo strato supremo dell'atmosfera terrestre, A sia il luogo di osservazione. Facendo A P ⊥ A C, P sarà l'ultima particella visibile sull'orizzonte di A. Tirando la tangente P D S e A S' ∥ P S, è chiaro che P sarà illuminato dal Sole, finchè questo

(1) La parola latina Crepusculum è derivata da creperus, *dubbio*. Lo stesso indica la parola lat. Diluculum. Aurora o Alba dicesi, perchè il cielo che allora, specialmente la mattina, sembra dorato, passa dall'oscuro al bianco (*aurescit et albescit*). Ovidio descrive bene la cosa in questi versi:

Iamque dies exactus erat, tempusque subibat,
Quod tu nec tenebras, nec possis dicere lucem,
Sed cum luce tamen dubiae confinia noctis.
Met. IV, 399 sg.

Digitized by Google

sia sceso sotto l'orizzonte di D; allora il raggio solare fa con A P H un angolo H P D = H A S', che misura la discesa del Sole sotto l' orizzonte di A. Ora l' esperienza dimostra che P perde il Sole di vista, quando l'angolo P A S' è uguale a 18°. Donde poi si deduce pure l'altezza di A B. Essendo $\sphericalangle$ A P D = 180° — 18° = 162° = 2 $\sphericalangle$ A P C; sarà $\sphericalangle$ A P C = 81° = 90° — A C P; $\sphericalangle$ A C P = 9°. Dunque nel triangolo rettangolo C A P, oltre il raggio terrestre A C, si conoscono gli altri angoli; si calcola quindi facilmente l'ipotenusa C P = C A + A B. Ponendo A C = 6377 chilometri, si trova che A B = 80 chilometri incirca. Cioè tale è l'altezza dell'atmosfera, capace di riflettere i raggi solari nel modo anzi detto. Posto ciò veniamo alla questione da risolversi.

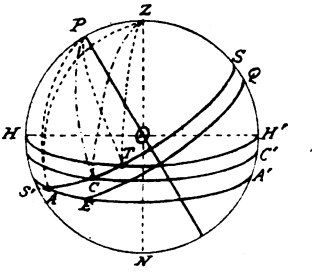


Fig. 148.

239. — Problema: Determinare la durata del crepuscolo, tanto civile quanto astronomico, per una latitudine geografica (φ) data, ed un giorno qualunque dell'anno (Fig. 148).

Il circolo H P H' rappresenti il Meridiano del luogo, P il polo, $\sphericalangle$ H O P = φ sarà l'altezza polare; facciamo O Z $\perp$ H H', Z sia lo Zenit, Q un punto equatoriale; S il punto culminante del Sole in un determinato giorno. Allora Q S = δ rappresenta la declinazione (nota) del Sole, la quale per maggiore semplicità del problema consideriamo sensibilmente invariabile durante il passaggio del Sole da S fino a S'. H T H' rappresenti il circolo dell'orizzonte, incontrato dal parallelo del Sole in T (punto del tramonto). Prendendo sul meridiano sotto l'orizzonte un arco H'C' = 6°,5; H'A' = 18° e conducendo per questi punti i circoli C'C ed A'A paralleli all'orizzonte, questi rappresenteranno i cosidetti circoli crepuscolari (il primo del crepuscolo civile, l'altro dell'astronomico). C ed A siano i punti rispettivi, dove il parallelo del Sole (nel giorno dato) incontra questi circoli. Conducendo poi per T, C ed A i tre circoli di declinazione P T, P C, P A, i tre angoli Z P T = ω, Z P C = ω', Z P A = ω'' rappresentano gli angoli orari rispet-

Digitized by Google

tivi dell'arco semidiurno, della fine del crepuscolo civile e quello dell'astronomico.

Costruendo ancora i tre circoli verticali ZT, ZC, ZA, avremo tre triangoli sferici, dei quali sono noti i tre lati, cioè $PZ = \varphi' = 90° - \varphi$ (comune a tutti); $PT = PC = PA = \delta' = 90° - \delta$; finalmente $ZT = 90°$; $ZC = 90° + 6°,5 = 96°,5$; $ZA = 90° + 18° = 108°$.

Da questi valori si ricava, mediante le formole trigonometriche, quello di ω, ω', ω''; $\omega'' - \omega$ dà la durata del crepuscolo astronomico, $\omega' - \omega$ quella del crepuscolo civile.

Così p. es. supponendo $\varphi = 42°$ (Roma), $\delta = 12°$ (21 aprile e 24 ottobre) troveremo

$\omega'' - \omega = 27° 40' = 1^h 50^m,6$; $\omega'' - \omega = 8° 34' = 34^m,2$.

Il lembo superiore del Sole però sparisce sotto l'orizzonte, quando la distanza zenitale del centro solare è uguale a 90° 16'; di più per la *rifrazione atmosferica* il lembo sparisce soltanto al nostro sguardo, quando si trova già attualmente 35' sotto l'orizzonte, donde la sua distanza zenitale vera sarà al principio del crepuscolo $90° 16' + 35' = 90° 51'$.

COROLLARIO: TEMPO DEL « MATTUTINO » E L' « AVE MARIA ».

240. — Tavola sinottica.

Tempo medio ed orizzonte di Roma	AURORA			LEVARE			MATTUTINO			AVE MARIA		
	giorno	ore	quarti	giorno	ore	quarti	giorno	ore	quarti	giorno	ore	quarti
Gennaio	1	5.3		1	7.2		1	2.2		1	5.1	
				19	7.1		27	2.3		14	5.2	
										27	5.3	
Febbraio	2	5.2		7	7.0		22	3.0		9	6.0	
	16	5.1		18	6.3					22	6.1	
	27	5.0		28	6.2							
Marzo	8	4.3		10	6.1		20	3.1		7	6.2	
	17	4.2		18	6.0					20	6.3	
	24	4.1		27	5.3							

Digitized by Google

Segue Tavola sinottica.

Tempo medio ed orizzonte di Roma	Aurora			Levare			Mattutino			Ave Maria		
	giorno	ore	quarti	giorno	ore	quarti	giorno	ore	quarti	giorno	ore	quarti
Aprile	2	4.0		4	5.2		15	3.2		2	7.0	
	9	3.3		13	5.1					15	7.1	
	16	3.2		24	5.0					28	7.2	
	25	3.1										
Maggio	2	3.0		4	4.3		11	3.3		11	7.3	
	10	2.3		18	4.2					24	8.0	
	19	2.2										
	27	2.1										
Giugno							11	4.0		11	8.1	
Luglio	7	2.2		17	4.3		15	3.3		15	8.0	
	19	2.3										
	29	3.0										
Agosto	7	3.1		1	5.0		11	3.2		1	7.3	
	16	3.2		16	5.1		31	3.1		11	7.2	
	27	3.3		30	5.2					21	7.1	
										31	7.0	
Settembre	6	4.0		14	5.3		16	3.0		8	6.3	
	17	4.1		29	6.0					16	6.2	
										24	6.1	
Ottobre	1	4.2		12	6.1		4	2.3		4	6.0	
	14	4.3		25	6.2		22	2.2		13	5.3	
	28	5.0								22	5.2	
Novembre	10	5.1		6	6.3		20	2.1		4	5.1	
	24	5.2		18	7.0					20	5.0	
Dicembre	1	5.3		1	7.1		28	2.2		28	5.1	
				19	7.2							

Digitized by Google

241. — Le cose esposte negli articoli precedenti trovano qualche applicazione nella liturgia ecclesiastica, la quale stabilisce, che la S. Messa privatamente può celebrarsi dall'aurora fino a mezzogiorno,(1) che le preci mattutine del breviario (il *Mattutino*) possono anticiparsi, quando il Sole ha percorso la metà della via tra il mezzogiorno ed il suo tramonto,(2) che finalmente il suono delle campane dell'*Ave Maria* si faccia circa una mezz'ora dopo il tramonto del Sole.

Siccome però anticamente, quando vigeva ancora l'uso del tempo italiano (num. 81), non si cambiava il principio della giornata (l'ora 0^h o 24) da un giorno all'altro, ma soltanto, quando la differenza era cresciuta di un quarto intero, così suol farsi colla determinazione di questi altri tempi, come vedesi nella precedente tavola (approvata dall'autorità competente) per l'orizzonte di Roma, riprodotta nei rispettivi Calendari. Il tempo indicato è il tempo solare medio civile del meridiano di Roma, contato due volte da 0^h a 12^h. L'aurora, indicata nella prima colonna, corrisponde al crepuscolo astronomico.

Questa tavola fa vedere, come la durata del crepuscolo (astronomico) in Roma, arrivando ad un massimo di 2 ore e 15 minuti verso la fine di maggio, rimane così tutto il mese di giugno; invece incontriamo due minimi di $1\frac{1}{2}$ (più esattamente $1^h\ 40^m$) nei primi giorni di marzo e di settembre. Ciò mostra, che la durata del crepuscolo non cresce proporzionalmente col crescere della declinazione del Sole. Il problema, di calcolare il giorno quando la durata del crepuscolo arriva ad un minimo per un dato luogo, per la difficoltà della sua soluzione, ha acqui-

(1) Rubricae gen. Miss. tit. XX, § 1.

(2) Dopo l'introduzione del tempo dell'Europa centrale si procede lo stesso, come se fosse il tempo locale, trascurando la nota differenza di 10 minuti.

La Tavola non contiene il Tramonto del Sole, perchè basta diminuire l'ora dell'Ave Maria di circa una mezz'ora, per saperlo almeno approssimativamente.

Tavole più complete per gli archi semidiurni del Sole per tutti i singoli gradi di latitudine geografica da 0° a 90° (per ogni terzo giorno dell'anno) si trovano nell'opera del P. Clavio: « In Sphaeram Ioannis de Sacro Bosco Commentarius. Accessit geometrica atque uberrima de crepusculis tractatio ». Lugduni, 1606.

Nella stessa edizione si trova una simile «Tabula Crepusculorum» pei singoli gradi di latitudine dal 35° fino al grado 61°.

Digitized by Google

stato una certa celebrità nella storia dell'Astronomia. Essendo adesso di poca importanza, per amore di brevità lo tralasciamo.

242. — Col diminuire dell'altezza polare diminuisce anche la durata del crepuscolo, il quale all'Equatore terrestre (per tutto l'anno) dura poco più d'un quarto d'ora; essendochè il Sole scende ivi quasi sempre perpendicolarmente sotto l'orizzonte.

Col crescere dell'altezza polare (latitudine geografica) H P (Fig. 148) cresce la durata del crepuscolo. Se P A diventa uguale a H P + 18°, cioè $\varphi + 18 = \delta' = 90^\circ - \delta$, il crepuscolo astronomico durerà tutta la notte. Il massimo valore di δ sia 23°30′; allora $\delta' = 90^\circ - 23^\circ,5 = 66,5$; $\varphi = 66,5 - 18 = 48^\circ,5$. Dunque il crepuscolo continuo già si potrà osservare alla latitudine di 48°,5 (Parigi); almeno al tempo del solstizio estivo.

Il crepuscolo a mezzanotte suppone quindi che

$$\varphi + 18^\circ \geqq 90^\circ - \delta, \qquad \text{ossia} \qquad \varphi + \delta \geqq 72^\circ.$$

In una latitudine di 60° (Pietroburgo) comincia già il fenomeno, quando il Sole arriva alla Declinazione di 12°, cioè circa il 21 di aprile, e dura poi fino al 21 di agosto. In *Hammerfest*, che ha una latitudine geografica di 70°, bastano due gradi di Declinazione boreale del Sole, per rendere visibile il crepuscolo di mezzanotte dal 25 marzo al 18 settembre.

Alla latitudine invece di 85°, al tempo del solstizio invernale, quando $\delta = -23^\circ,5$, il Sole anche a mezzogiorno si troverà più di 18° sotto l'orizzonte, cioè a mezzogiorno sarà notte perfetta!

Art. IV. — Esempio spettante alla Gnomonica. (Meridiana media).

243.—Problema: Determinare sopra una linea oraria qualunque, d'un orologio verticale non declinante, il punto d'ombra per un giorno qualunque dell'anno. (Cf. sopra num. 99 sgg.).

Soluzione: C sia il centro dell'orologio (Fig. 149), C M la meridiana, C X la linea oraria in quistione, C G = a l'asse dell'orologio, parallelo all'asse del mondo, G il gnomone, M G ⊥ C G, E M ⊥ C M; E M sarà la linea equinoziale, quindi anche E G ⊥ C G; l'angolo E G M = ω sarà l'angolo orario

Digitized by Google

del piano C G E, congiungendo E col centro del circolo divisore O (di cui raggio O M = M G), sarà pure $\sphericalangle E O M = \omega = \sphericalangle E G M$.

La declinazione (australe) del Sole sia $\delta = \sphericalangle S G Q = \sphericalangle A G E$, i quali angoli tutti giacciono nel piano orario C G E, determinato dalla linea oraria C X. A sarà il punto cercato.

Il problema ora consiste in ciò, di trovare un'espressione trigonometrica della linea C A = b.

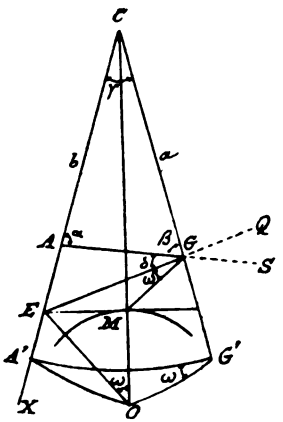


Fig. 149.

Consideriamo il triangolo piano A G C, del quale si conosce il lato CG = a, $\sphericalangle \beta = 90° - \delta$; se troviamo un terzo elemento $\sphericalangle A C G = \sphericalangle \gamma$, si potrà calcolare il valore di β.

Facciamo perciò CA′ = CG′ = C O. Immaginando poi archi circolari per i punti A′, O, G′, avremo un triangolo sferico A′G′O, rettangolare in O, nel quale $\sphericalangle A'G'O = \omega$, il lato $A'G' = \sphericalangle \gamma$, O G′ rappresenta la distanza zenitale φ' del polo, ossia la collatitudine del luogo

$$\varphi' = 90° - \varphi .$$

Abbiamo quindi un triangolo sferico rettangolo, del quale si conoscono, oltre l'angolo retto, l'angolo acuto ω ed il cateto adiacente φ', si cerca l'ipotenusa γ.

Usando la formola (A. IV) del num. 223

$$\cos c \cos \beta = \operatorname{sen} c \operatorname{cotg} a$$

ed applicandola al caso nostro avremo

$$\left.\begin{array}{l} \cos\varphi' \cos\omega = \operatorname{sen}\varphi' \operatorname{cotg}\gamma \\ \operatorname{sen}\varphi \cos\omega = \cos\varphi \operatorname{cotg}\gamma \end{array}\right\} \quad \left.\begin{array}{l} \operatorname{cotg}\varphi' \cos\omega = \operatorname{cotg}\gamma \\ \operatorname{tang}\varphi \cos\omega = \operatorname{cotg}\gamma \end{array}\right\} = \frac{1}{\operatorname{tang}\gamma}$$

dunque

$$\operatorname{tang}\gamma = \frac{1}{\operatorname{tang}\varphi \cos\omega} = \operatorname{tang}\varphi' \sec\omega .$$

Trovato γ, la soluzione del triangolo piano A G C non offre più nessuna difficoltà; poichè $\frac{C A}{C G} = \frac{b}{a} = \frac{\operatorname{sen}\beta}{\operatorname{sen}\alpha}$,

Digitized by Google

considerando δ come negativo, sarà

$$\beta = 90^\circ + \delta\,, \quad \alpha = 180^\circ - \beta - \gamma = 90^\circ - (\delta + \gamma)\,;$$

dunque $$\frac{b}{a} = \frac{\cos\delta}{\cos(\delta+\gamma)}\,; \qquad b = \frac{a\cdot\cos\delta}{\cos(\delta+\gamma)}\,.$$

244. — COROLLARIO: Nel modo testè spiegato, si potranno trovare sulla meridiana e sulle linee orarie $11\frac{3}{4}$ e $12\frac{1}{4}$ i punti d'ombra in qualunque giorno dell'anno; anzi variando ω secondo il valore dell'equazione del tempo, si potrebbero determinare direttamente per mezzo del calcolo gli stessi punti per il mezzogiorno medio, e quindi costruire dietro i risultati ottenuti la cosidetta Meridiana a tempo medio (num. 112 sgg.).

ART. V. — DETERMINAZIONE DELL'AZIMUT ASSOLUTO DI UN ASTRO. RIDUZIONE DI UN ANGOLO QUALUNQUE ALL'ORIZZONTE. AMPIEZZA ORTIVA ED OCCASA DI UNA STELLA (Fig. 150).

245. — PZS sia il noto triangolo astronomico, tra la stella S, lo zenit Z ed il polo P. Conoscendo tre elementi di questo triangolo, si calcola facilmente l'angolo PZS, supplementare di SZM; avremo quindi per l'azimut assoluto (numero 37)

$$HV = \measuredangle VZM = 180^\circ - \measuredangle PZS.$$

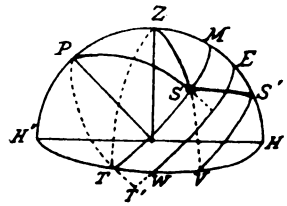


Fig. 150.

Sia S' una seconda stella, della quale sia misurata (per mezzo del sestante) la distanza angolare da S. Conoscendo le rispettive distanze zenitali SZ e S'Z, si conoscono i tre lati del triangolo sferico SZS', donde si calcola $\measuredangle SZS' = VH$, rappresentante la riduzione di SS' all'orizzonte. Il caso occorre più facilmente con oggetti terrestri; avendo per esempio misurata la distanza angolare delle cime di due montagne, si vorrebbe sapere la proiezione della medesima sul piano orizzontale.

EW rappresenti l'Equatore celeste, ST il parallelo di S, S'V quello di S'; allora T e V saranno i rispettivi punti del tra-

Digitized by Google

monto, W sarà il punto cardinale dell'Ovest. La distanza angolare dei punti T e V da W si chiama l'ampiezza occidua od occasa degli astri S ed S', alla quale poi verso Est corrisponde una simile ampiezza ortiva. Quella di S sarebbe boreale (verso Nord), quella di S' sarebbe australe (verso Sud).

Conoscendo l'arco semidiurno $ET' = 90° + WT'$, e la declinazione TT' della stella S, si calcola facilmente l'ipotenusa TW del triangolo sferico $TT'W$, rettangolo in T'.

CAPITOLO VI.

TRASFORMAZIONE DELLE COORDINATE CELESTI.

246. — Le osservazioni astronomiche, fatte cogli strumenti descritti di sopra, forniscono le coordinate celesti di un astro in un sistema determinato (equatoriale, altazimutale, ecc.); per il calcolo però delle orbite si richiedono piuttosto le coordinate eclitticali. Occorre quindi frequentissimamente il caso nei calcoli astronomici, di dovere trasformare le coordinate di un sistema in quelle di un altro. In tutte queste trasformazioni il centro O (Fig. 151), ossia l'origine delle coordinate, rimane invariato; [1] rimane pure invariata la linea d'intersezione dei due piani fondamentali, se in essa si trovi collocato l'asse delle ascisse O X.

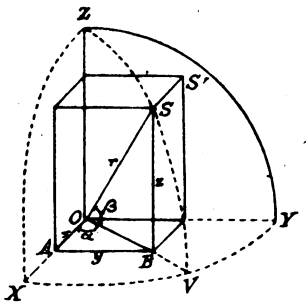


Fig. 151.

Primo metodo.

247. — Sia un punto S (una stella) determinato per mezzo delle coordinate angolari, $\alpha = \sphericalangle XOV$, $\beta = \sphericalangle VOS$, r sia

(1) Del caso, dove avremo anche il trasporto del punto d'origine, p. es., dal centro della Terra (Coordinate geocentriche) al Sole (Coordinate eliocentriche), tratteremo altrove.

Digitized by Google

il raggio della sfera. Calando da S la perpendicolare S B $\perp$ O V, similmente B A $\perp$ O X, avremo le coordinate rettilinee ortogonali di S, cioè l'ascissa $x = O A$, l'ordinata $y = A B$, l'applicata $z = B S$; ponendo $O B = r'$, risulta

$$\left.\begin{aligned} x &= r' \cos \alpha = r \cos \alpha \cos \beta \\ y &= r' \operatorname{sen} \alpha = r \operatorname{sen} \alpha \cos \beta \\ z &= r \operatorname{sen} \beta = r \operatorname{sen} \beta \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

Consideriamo ora le coordinate di S, riferite ad un altro piano fondamentale X O Y (Fig. 152), che faccia col piano X O Y un angolo $Y O Y' = i$ (inclinazione).

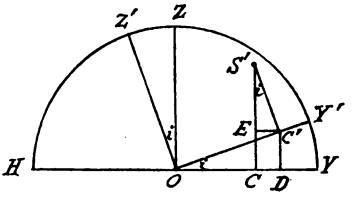


Fig. 152.

Chiamando le coordinate ortogonali di S riferite a questo piano x', y', z'; α' e β' le coordinate angolari, rimanendo lo stesso raggio r, sarà senz'altro come nel numero precedente:

$$\left.\begin{aligned} x' &= r \cos \alpha' \cos \beta' \\ y' &= r \operatorname{sen} \alpha' \cos \beta' \\ z' &= r \operatorname{sen} \beta' \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

248. — S' sia la proiezione di S sul piano Y O Z, le coordinate di S, cioè y e z, y' e z', restano identiche a quelle di S'.

Ora facciamo S' C $\perp$ O Y, S' C' $\perp$ O Y', similmente C' E $\perp$ S' C; sarà:

$$y = O C \qquad y' = O C'$$
$$z = C S' \qquad z' = C' S'$$
$$\sphericalangle C S' C' = \sphericalangle Y O Y' = Z O Z' = \sphericalangle i.$$

Vediamo ora che relazione esiste tra y, z e y' e z':

$$y = OC = OD - CD = OD - EC' = OC' \cos i - S'C' \operatorname{sen} i$$
$$z = CS' = CE + ES' = DC' + ES' = OC' \operatorname{sen} i + S'C' \cos i$$

Digitized by Google

Abbiamo dunque per la relazione tra x, y, z, e x', y', z' le tre equazioni

$$\left.\begin{aligned} x &= x' \\ y &= y' \cos i - z' \operatorname{sen} i \\ z &= y' \operatorname{sen} i + z' \cos i \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

le quali, supponendo noto i, esprimono x, y, z in funzione di x', y', z'.

Viceversa per ottenere simili espressioni per x', y', z', moltiplichiamo la seconda equazione (3) per $\cos i$, la terza per $\operatorname{sen} i$ (fattori di y'); risulta

$$\begin{aligned} y \cos i &= y' \cos^2 i - z' \operatorname{sen} i \cos i \\ z \operatorname{sen} i &= y' \operatorname{sen}^2 i + z' \operatorname{sen} i \cos i \end{aligned}$$

sommando $\quad y \cos i + z \operatorname{sen} i = y'$.

Parimenti moltiplicando la II e III equazione (3) coi fattori rispettivi di z', avremo

$$\begin{aligned} y \operatorname{sen} i &= y' \operatorname{sen} i \cos i - z' \operatorname{sen}^2 i \\ z \cos i &= y' \operatorname{sen} i \cos i + z' \cos^2 i \end{aligned}$$

sottraendo $\quad z \cos i - y \operatorname{sen} i = z'$.

Riassumendo i risultati avremo quindi

$$\left.\begin{aligned} x' &= x \\ y' &= y \cos i + z \operatorname{sen} i \\ z' &= z \cos i - y \operatorname{sen} i \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

249. — Sostituendo poi i valori di x, y, z ed x', y', z' delle equazioni (1) e (2) in quelle (3) e (4), avremo la trasformazione delle coordinate angolari. Il gruppo (3) si trasformerà in:

$$\left.\begin{aligned} \cos\alpha \cos\beta &= \cos\alpha' \cos\beta', \\ \operatorname{sen}\alpha \cos\beta &= \operatorname{sen}\alpha' \cos\beta' \cos i - \operatorname{sen}\beta' \operatorname{sen} i, \\ \operatorname{sen}\beta &= \operatorname{sen}\alpha' \cos\beta' \operatorname{sen} i + \operatorname{sen}\beta' \cos i, \\ \operatorname{tang}\alpha &= \operatorname{tang}\alpha' \cos i - \operatorname{tang}\beta' \frac{\operatorname{sen} i}{\cos\alpha}; \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

dove l'ultima equazione è il risultato della divisione della seconda per la prima.

Digitized by Google

Il gruppo (4) si trasforma in quest'altro:

$$\left.\begin{aligned} \cos\alpha' \cos\beta' &= \cos\alpha \cos\beta, \\ \operatorname{sen}\alpha' \cos\beta' &= \operatorname{sen}\alpha \cos\beta \cos i + \operatorname{sen}\beta \operatorname{sen} i, \\ \operatorname{sen}\beta' &= \operatorname{sen}\beta \cos i - \operatorname{sen}\alpha \cos\beta \operatorname{sen} i, \\ \operatorname{tang}\alpha' &= \operatorname{tang}\alpha \cos i + \operatorname{tang}\beta \frac{\operatorname{sen} i}{\cos\alpha}. \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

anche qui l'ultima risulta dalla divisione della II per la I.

250. — Le formole (5) e (6) contengono tutto quello che è necessario per la trasformazione delle coordinate celesti. Volendo, per es., trasformare le coordinate equatoriali in quelle dell'eclittica, l'angolo i sarà l'inclinazione dell'eclittica, α e β corrispondono all'*Ascensione retta* e alla *Declinazione*, α' e β' alla *Longitudine* e *Latitudine*.

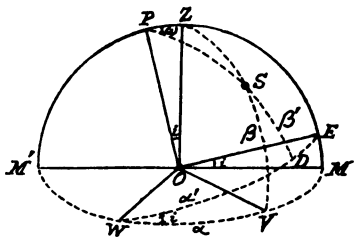


Fig. 153.

Similmente, volendo trasformare le coordinate altazimutali in coordinate equatoriali (Fig. 153), la linea d'intersezione dei due piani fondamentali sarà la linea orizzontale Est–Ovest, i sarà l'altezza dell'Equatore sull'Orizzonte (coaltezza del Polo); α sarà il complemento dell'Azimut assoluto (90° — VM), β l'altezza; α' sarà il complemento dell'angolo orario (90° — DE), β' la declinazione.

Trattandosi del Sole, la latitudine del quale è zero, le formole diventano ancora più semplici.

Secondo metodo di trasformazione delle coordinate.

251. — Lo scopo di quest'altro metodo di trasformazione si è, di rendere le rispettive formole più adattate al calcolo logaritmico, evitando, coll'introduzione di un angolo ausiliare, le addizioni e sottrazioni nelle medesime (Fig. 154).

Ritenendo la stessa nomenclatura come di sopra, siano α e β, α' e β' le coordinate angolari del punto S, riferite ai piani fondamentali XOY ed XOY', uno inclinato all'altro dell'angolo i.

Digitized by Google

Conducendo un circolo massimo per S ed X, il piano del quale faccia con quello di X O Y un angolo $\varkappa$, con quello X O Y' l'angolo $\varkappa' = \varkappa - i$, avremo due triangoli sferici rettangolari S V X ed S D X coll'ipotenusa comune $SX = p$.

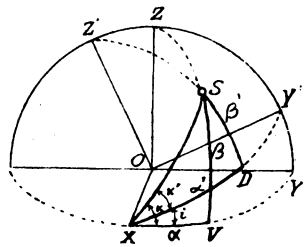


Fig. 154.

Le formole del triangolo sferico rettangolare [cioè I A, V, III A, IV B del n. 223] applicate al caso nostro forniscono le seguenti equazioni:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{(I)} & \cos p = \cos\alpha \cos\beta\,; \\ \text{(II)} & \operatorname{tang}\varkappa = \operatorname{tg}\beta : \operatorname{sen}\alpha\,; \\ \text{(III)} & \operatorname{sen}\beta = \operatorname{sen} p \operatorname{sen}\varkappa\,; \\ \text{(IV)} & \operatorname{tang}\alpha = \operatorname{tang} p \cos\varkappa\,. \end{array}\right\} \qquad (7)$$

Parimenti

$$\left.\begin{array}{ll} \text{(I)} & \cos p = \cos\alpha' \cos\beta'; \\ \text{(II)} & \operatorname{tang}\varkappa' = \operatorname{tg}\beta' : \operatorname{sen}\alpha'; \\ \text{(III)} & \operatorname{sen}\beta' = \operatorname{sen} p \operatorname{sen}\varkappa'\,; \\ \text{(IV)} & \operatorname{tang}\alpha' = \operatorname{tang} p \cos\varkappa'. \end{array}\right\} \qquad (8)$$

Per mezzo di queste formole, conoscendo α, β ed i, si calcola α', β' e viceversa. Nel primo caso l'equazione I del gruppo (7) ci fa trovare $\cos p$; la II, tang $\varkappa$.

Trovato $\varkappa$, si conosce $\varkappa' = \varkappa - i$; sostituiti i valori trovati di p e $\varkappa'$, rispettivamente sen p e sen $\varkappa'$, nella equazione III del gruppo (8) si trova sen β', donde risulta poi l'angolo β'. Similmente la IV equazione del gruppo (8) fornisce il valore di tang α', donde poi si ricava α'.

Nel caso inverso, cioè quando, essendo dati α', β', si cerca α e β, le equazioni I e II del gruppo (8) forniscono i valori

Digitized by Google

di p e $\varkappa'$; essendo $\varkappa' = \varkappa - i$, si conosce $\varkappa = \varkappa' + i$. Sostituendo i valori trovati di p e $\varkappa$ nelle equazioni III e IV del gruppo (7) si trovano α e β.

252. — Esempio numerico.[1] Sia l'ascensione retta di una stella $\alpha = 259^\circ 4' 36'',87$, la declinazione $\beta = -10^\circ 14' 2'',46$; l'inclinazione dell'eclittica $i = 23^\circ 27' 22'',99$; si cercano le coordinate eclitticali, cioè la longitudine α' e la latitudine β'.

Secondo le equazioni I (7) e II (8) abbiamo

$$\log\cos p = \log\cos\alpha + \log\cos\beta;$$
$$\log\operatorname{tg}\varkappa = \log\operatorname{tg}\beta - \log\operatorname{sen}\alpha$$

$\log\cos\alpha = 9_n2775890$	$\log\operatorname{tg}\beta = 9_n2565768$
$\log\cos\beta = 9,9930350$	$\log\operatorname{sen}\alpha = 9_n9920595$
$\log\cos p = 9_n2706240$	$\log\operatorname{tg}\varkappa = 9,2645173$

$$\varkappa = 10^\circ 25' 7'',52 + 180^\circ = 190^\circ 25' 7'',52;$$
$$\varkappa' = \varkappa - i = 166^\circ 57' 44'',53 = 180^\circ - 13^\circ 2' 15'',47.$$

Secondo III (8) e IV (8)

$$\log\operatorname{sen}\beta' = \log\operatorname{sen} p + \log\varkappa'$$
$$\log\operatorname{tg}\alpha' = \log\operatorname{tg} p \cdot \log\cos\varkappa'$$

$\log\operatorname{sen} p = 9,9923146$	$\log\operatorname{tg} p = 0_n7216906$
$\log\operatorname{sen}\varkappa' = 9,3533217$	$\log\cos\varkappa' = 9_n9886580$
$\log\operatorname{sen}\beta' = 9,3456363$	$\log\operatorname{tg}\alpha' = 0,7103486$
$\beta' = 12^\circ 48' 18'',08.$	$\alpha' = 180^\circ + 78^\circ 58' 31'',03$
	$\alpha' = 258^\circ 58' 31'',03$

(1) I dati sono presi dal libro dell'Oppolzer: « Bahnbestimmung der Kometen und Planeten », I, 14 (Leipzig, 1882), il quale fa il calcolo inverso; ivi si trovano inoltre certe equazioni per il controllo del calcolo, che noi per amore di brevità tralasciamo.

Le formole suddette potrebbero pure, come fa il sullodato autore, immediatamente dedursi dalle formole generali (5) e (6) con abili sostituzioni; noi abbiamo prescelto il modo sovraesposto, perchè pone sott'occhio anche il significato geometrico delle quantità ausiliari.

Digitized by Google

COROLLARIO: Talvolta la scelta del quadrante, nel quale devono prendersi gli angoli trovati, potrebbe sembrare dubbia. Così nell'esempio dato α trovasi nel terzo quadrante, cioè

$$\alpha = 180^\circ + 79^\circ\, 4'\, 36'',87.$$

p sarà un arco maggiore di 90° e minore di 180°; $\varkappa$ (essendo tang $\varkappa$ positiva) potrebbe trovarsi nel I e nel III quadrante.

Perchè abbiamo prescelto il secondo caso?

Una semplice ispezione del globo potrà forse senz'altro sciogliere questo dubbio. Si ricordi poi che $\varkappa$ è l'angolo che fa il circolo massimo (passante per S e per il punto equinoziale); ora trovandosi la stella nel terzo quadrante dell'Equatore ed avendo inoltre una declinazione negativa, $\varkappa$ trovasi necessariamente non nel primo, ma nel terzo quadrante.

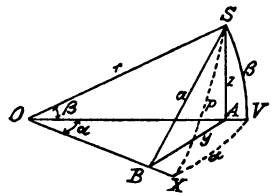


Fig. 155.

253. — Affine però di togliere ogni ambiguità intorno al quadrante, nel quale devono scegliersi gli angoli, corrispondenti alle formole II e IV (7), che esprimono i medesimi per mezzo della tangente, si suol fare un'altra piccola trasformazione delle suddette formole, la quale fornisce separatamente espressioni dei medesimi angoli per mezzo del seno e coseno.

Facciamo (Fig. 155) a questo scopo $SA \perp OV$, $AB \perp OX$, congiungiamo B ed S, allora (cf. n. 217) dal triangolo piano BAS, rettangolo in A (supponendo $\measuredangle SBA = \varkappa$), risulta

$$\operatorname{sen}\varkappa = \frac{AS}{BS} = \frac{z}{a} = \frac{\operatorname{sen}\beta}{\operatorname{sen} p};$$

quindi

$$\operatorname{sen} p \operatorname{sen}\varkappa = \operatorname{sen}\beta = \operatorname{sen} p \operatorname{sen}(\varkappa' + i)$$

$$\cos\varkappa = \frac{AB}{BS} = \frac{y}{a} = \frac{OA \operatorname{sen}\alpha}{\operatorname{sen} p} = \frac{\cos\beta \operatorname{sen}\alpha}{\operatorname{sen} p};$$

$$\operatorname{sen} p \cos\varkappa = \operatorname{sen}\alpha \cos\beta = \operatorname{sen} p \cos(\varkappa' + i).$$

Digitized by Google

Similmente si ottiene

$$\operatorname{sen} p \operatorname{sen} \varkappa' = \operatorname{sen} \beta' = \operatorname{sen} p \operatorname{sen} (\varkappa - i) ;$$
$$\operatorname{sen} p \cos \varkappa' = \operatorname{sen} \alpha' \cos \beta' = \operatorname{sen} p \cos (\varkappa - i) .$$

Per la trasformazione delle coordinate α e β in α' e β', avremo così le cinque formole

		ovvero rimettendo $\operatorname{sen} p = a$	
(I)	$\operatorname{sen} p \operatorname{sen} \varkappa = \operatorname{sen} \beta$;	$a \operatorname{sen} \varkappa = \operatorname{sen} \beta$;	(9)
(II)	$\operatorname{sen} p \cos \varkappa = \operatorname{sen} \alpha \cos \beta$;	$a \cos \varkappa = \operatorname{sen} \alpha \cos \beta$;	(9)
(III)	$\operatorname{sen} \alpha' \cos \beta' = \operatorname{sen} p \cos (\varkappa - i)$;	$\operatorname{sen} \alpha' \cos \beta' = a \cos (\varkappa - i)$;	(9)
(IV)	$\cos \alpha' \cos \beta' = \cos \alpha \cos \beta$;	$\cos \alpha' \cos \beta' = \cos \alpha \cos \beta$;	(9)
(V)	$\operatorname{sen} \beta' = \operatorname{sen} p \operatorname{sen} (\varkappa - i)$.	$\operatorname{sen} \beta' = a \operatorname{sen} (\varkappa - i)$.	(9)

Per la trasformazione inversa di α' e β' in α e β sarà

(I)	$\operatorname{sen} p \operatorname{sen} \varkappa' = \operatorname{sen} \beta'$;	$a \operatorname{sen} \varkappa' = \operatorname{sen} \beta'$;	(10)
(II)	$\operatorname{sen} p \cos \varkappa' = \operatorname{sen} \alpha' \cos \beta'$;	$a \cos \varkappa' = \operatorname{sen} \alpha' \cos \beta'$;	(10)
(III)	$\operatorname{sen} \alpha \cos \beta = \operatorname{sen} p \cos (\varkappa' + i)$;	$\operatorname{sen} \alpha \cos \beta = a \cos (\varkappa' + i)$;	(10)
(IV)	$\cos \alpha \cos \beta = \cos \alpha' \cos \beta'$;	$\cos \alpha \cos \beta = \cos \alpha' \cos \beta'$;	(10)
(V)	$\operatorname{sen} \beta = \operatorname{sen} p \operatorname{sen} (\varkappa' + i)$;	$\operatorname{sen} \beta = a \operatorname{sen} (\varkappa' + i)$.	(10)

Per esercizio di calcolo si sciolga l'esempio dato (num. 252) per mezzo di queste formole nuove: il risultato sarà identico a quello trovato di sopra. Si noti però, che sarà negativo il prodotto (I) $\operatorname{sen} p \operatorname{sen} \varkappa$, essendo negativo l'angolo β, e quindi anche $\operatorname{sen} \beta$; sarà similmente negativo il prodotto (II) $\operatorname{sen} p \cos \varkappa$, essendo negativo $\operatorname{sen} \alpha$, positivo $\cos \beta$. Ora un angolo $\varkappa$, del quale sono negativi tanto il seno, quanto il coseno, può trovarsi soltanto nel terzo quadrante, cioè $\varkappa$ sarà uguale

$$180^\circ + 10^\circ\, 25'\, 7'',52 = 190^\circ\, 25'\, 7'',52.$$

Digitized by Google

PARTE QUINTA

MODIFICAZIONI DELLE MISURE ASTROMETRICHE

254. — Nelle nostre considerazioni fatte finora, noi abbiamo fatto varie supposizioni, che ora bisogna esaminare un po' più rigorosamente. Abbiamo supposto, che il raggio luminoso venga in linea retta dall'oggetto luminoso all'occhio dell'osservatore; abbiamo supposto, che i raggi provenienti da una stella ad un punto qualunque del globo terrestre (avendo riguardo all'immensa distanza) possano considerarsi come paralleli: in altre parole, che la Terra veduta da quella stella sembri un punto senza estensione; finalmente abbiamo supposto, che la Terra sia un globo perfetto, e che quindi i circoli della medesima, i quali determinano la posizione geografica dell'osservatore sopra di essa, siano circoli perfetti.

La prima supposizione richiede qualche modificazione a cagione della **Rifrazione atmosferica**; la seconda a cagione della vicinanza di alcuni astri, che veduti allo stesso momento da varii punti del globo terrestre, mostrano un cambiamento di posto: una **parallasse**; la terza poi viene un po' modificata dalla scoperta della **figura ellissoidale della Terra**, per la quale bisogna distinguere le coordinate geografiche dalle coordinate geocentriche. Nei seguenti capitoli tratteremo di queste varie cose, stabilendo la dipendenza delle misure astrometriche dalle medesime.

CAPITOLO I.

RIFRAZIONE ASTRONOMICA.(1)

255. — La terra è circondata da un mare di aria atmosferica, sul fondo del quale si trova l'osservatore degli oggetti celesti.

1) Il nome più generale di rifrazione atmosferica comprende anche i fenomeni della rifrazione, che si osservano presso la superficie

Digitized by Google

Quanto sia alto o profondo questo oceano, lo mostrano i fenomeni del crepuscolo (num. 237) e delle stelle cadenti: il primo di questi prova che ad un'altezza di 80 chilometri si trova ancora materia, capace di riflettere la luce solare in un modo sensibile; il secondo dimostra che all'*altezza di 200 chilometri* quest'aria già può venir condensata dalle meteore, penetranti in essa, in modo da renderle incandescenti.

Secondo le note leggi della Fisica gli strati più densi di questo grandioso involucro atmosferico, che circonda la Terra da tutte le parti e gravita verso di essa, trovansi nelle regioni più vicine alla Terra. È noto poi, che un raggio luminoso, che passa da uno strato meno denso di una materia trasparente ad uno strato più denso, devia dalla sua direzione rettilinea (accostandosi alla normale, innalzata sulla superficie separante i due strati); donde si vede, che anche la direzione dei raggi luminosi delle stelle, prima di arrivare all'occhio nostro, devono subire simili alterazioni abbastanza sensibili.

256. — **Il fatto** era già noto agli antichi: Cleomede (I secolo) spiegò così la possibilità di vedere i due astri principali, Sole e Luna, tutti due sopra l'orizzonte al tempo di una ecclisse totale di Luna.[1] Tolomeo (sec. II), avvertendo che la distanza polare (codeclinazione) delle stelle cresceva col loro avvicinarsi al Meridiano, ed in modo diverso diminuiva dopo la culminazione fino al tramonto, vide in questo giustamente un effetto della rifrazione atmosferica. L'astronomo arabo Alhazen (secolo XI) fece i primi tentativi di formolare una legge della rifrazione astronomica, la quale modificava direttamente l'altezza delle stelle (e quindi indirettamente le altre coordinate dipendenti da essa). Tycho Brahe (secolo XVI) diede le prime tavole di rifrazione. Confrontando cioè semplicemente l'altezza calcolata di un astro con quella ottenuta direttamente co' suoi strumenti perfezionati (n. 141), ne cavò la

terrestre, nei quali la sorgente luminosa, ossia l'oggetto osservato, si trova nell'atmosfera stessa.

(1) Cyclica consideratio meteorum. Ed. Paris, 1539. Se l'ecclisse è centrale, il centro della Terra sta nella linea che congiunge i centri del Sole e della Luna; quindi se uno degli astri trovasi sopra l'orizzonte di un osservatore terrestre, l'altro dovrebbe trovarsi al disotto.

Digitized by Google

differenza, attribuendola alla rifrazione atmosferica. Pressochè insensibile dallo Zenit fino ad un'altezza di 45°, cresceva questa differenza colla crescente distanza zenitale (benchè in ragione non semplicemente proporzionale a questa), arrivando ad un massimo di circa un mezzo grado presso l'orizzonte. Tycone però, scoprendo delle irregolarità, credette che anche la distanza assoluta delle stelle abbia un influsso nel fenomeno; errore poi combattuto da Keplero (suo contemporaneo e successore in Praga), il quale diede delle Tavole più perfezionate, che fino a distanze zenitali di 80° diedero ottimi risultati.

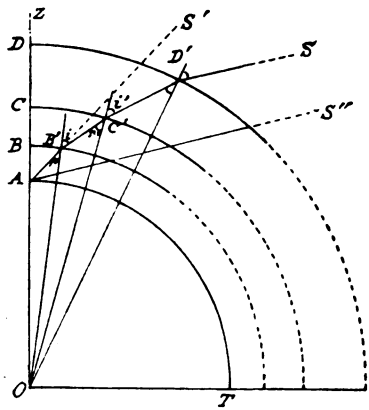


Fig. 156.

257. — Scoperte le leggi della rifrazione, specialmente il rapporto che esiste tra l'angolo di incidenza e l'angolo di rifrazione, i seni dei quali mostrano una proporzione costante (detto indice di rifrazione), [1] si poteva cercare una soluzione del difficile problema con principii più generali, e stabilire una **teoria della rifrazione astronomica.**

Immaginiamo (Fig. 156) [2] la Terra A T circondata da vari strati concentrici di aria atmosferica, la densità dei quali diminuisca colla distanza dal centro comune O. Benchè questa variazione di densità realmente si faccia in un modo continuo, cioè senza salti, nondimeno potremo noi col pensiero formare tanti strati di certa estensione A B, B C, C D, ecc., ciascuno dotato di una densità omogenea, densità media di quella dello strato reale corrispondente. Un raggio luminoso proveniente da Z (Zenit dell'osservatore in A) incontra perpendicolarmente tutte le superficie, che separano uno strato (D C) da un altro (C B) più denso; quindi continua la sua corsa in linea retta

(1) Sopra ciò si vedano i trattati di Fisica.

(2) Nella fig. 156, l'effetto della rifrazione è esagerato, per rendere questa più evidente.

Digitized by Google

senza veruna deviazione o rifrazione; ecco perchè la rifrazione astronomica non ha sensibile influsso nelle osservazioni zenitali.

Invece un raggio AB′, proveniente da B′ verso A, e quindi dall'osservatore, collocato in A, riferito al punto S′ della Sfera celeste, in realtà arrivò in B′ venendo da C′, rimanendo però sempre nello stesso piano verticale ZAB′.

L'angolo di rifrazione $\measuredangle AB'O = r$ è necessariamente minore dell'angolo d'incidenza i; ma anche in C′ il raggio aveva già subito una rifrazione simile essendo $r' < i'$, e così via. Se D′S indica la direzione primitiva colla quale il detto raggio penetrò nell'atmosfera terrestre, l'osservatore in A vedrebbe senza l'effetto della rifrazione la stella S nella direzione AS″ ∥ D′S; riferendola verso S′, la crede più alta, l'angolo S′AS″ sarà l'effetto della rifrazione, aggiungendolo alla distanza zenitale apparente ZAS′, si avrà la distanza zenitale reale ZAS″ = = ZAS′ + S′AS″; S′AS″ poi sarà la somma di tutte le differenze $(i - r) + (i' - r')$ ecc., cioè la somma di tutti gli spostamenti parziali subiti dal raggio luminoso nel passaggio dai vari strati meno densi ad altri di maggiore densità.

258. — Sfortunatamente non c'è una legge ben determinata della diminuzione di densità dell'aria atmosferica colla crescente altezza. Benchè la densità media, almeno negli strati inferiori, possa determinarsi empiricamente per mezzo del barometro e del termometro, misurando cioè la pressione della colonna aerea sovrastante e la condensazione dovuta alla diminuzione di temperatura, nondimeno una teorica, che renda possibile una correzione assolutamente precisa della rifrazione astronomica, non esiste. (1) Ad onta delle ricerche scientifiche fatte sulla rifra-

(1) Lo stato igrometrico anche esso è un fattore della densità dell'aria, benchè meno percettibile e quindi più o meno trascurabile. Diminuendo cioè la densità dell'aria, per la presenza del vapor d'acqua, diminuisce con ciò stesso anche il potere rifrangente della medesima; ma avendo il vapore d'acqua un potere rifrangente maggiore, che aumenterebbe l'effetto della rifrazione, queste due cause in gran parte si compensano. Rimangono però altre irregolarità meno controllabili, p. es., l'inclinazione anormale di qualche superficie separante vari strati, la quale potrebbe pure produrre una Rifrazione zenitale. La diversità di temperatura, dentro e fuori dell'osservatorio, può produrre delle perturbazioni;

Digitized by Google

zione astronomica dalle prime autorità, (1) questa rimane sempre un punto debole dell'Astrometria, perchè le varie ipotesi fisiche da farsi non si verificano mai rigorosamente.

Cassini colla finta supposizione di un'atmosfera del tutto omogenea, cioè di una densità uguale a quella che trovasi al livello del mare, nella quale atmosfera, dell'altezza di un chilometro incirca, vi sarebbe una superficie sola rifrangente, ottenne risultati, che combinano colle rifrazioni medie ottenute dalle altre ipotesi in un modo sorprendente, almeno fino alla distanza zenitale di 80°.

Oltre questa distanza, però, come tutti sanno, nessun'altra teoria può dare risultati precisi; onde più facilmente potremo qui dispensarci dall'entrare nei dettagli delle varie teorie, che da una parte richiedono l'apparato della matematica superiore ed inoltre sono assai complicate.

259. — Per gli usi pratici inseriamo qui un estratto delle **Tavole anaclastiche** (2) di Bessel, secondo la formola stabilita da quest'astronomo:

$$r = \alpha\,(1 - \beta - \gamma)$$

nella quale r significa l'effetto della rifrazione, ossia l'angolo da aggiungersi alla distanza zenitale apparente z, per avere la distanza zenitale vera; α dà il valore medio di quest'angolo pei vari gradi. Le modificazioni accidentali del medesimo a cagione della variabile pressione atmosferica e temperatura, trovano la loro espressione nelle quantità β e γ, secondo le indicazioni del barometro (in millimetri) e del termometro (in centigradi) rispettivamente, come vedesi nelle tavole aggiunte al n. 261.

anche la variabile costituzione dell'atmosfera, di cui per la rotazione della Terra se nuovi strati si frappongono tra l'occhio dell'osservatore e l'oggetto osservato, produce uno scintillio continuo delle stelle osservate, e talvolta uno spostamento sensibile.

(1) Basta citare un Newton, Bernoulli, Simpson, Bradley, Euler, Lacaille, Mayer, Lambert, Lagrange, Laplace, Bessel, Plana, Ivory, ecc.

(2) Dal greco ἀνα-κλάω (rifrango).

Digitized by Google

260. — Tavola della rifrazione media.

Distanza zenitale apparente z	Rifrazione media α	Distanza zenitale apparente z	Rifrazione media α	Distanza zenitale apparente z	Rifrazione media α
0°	0′ 0″,0	69° 0′	2′ 29″,3	85° 0′	9′ 46″,5
5	» 5,1	70 »	» 37,3	» 10	10 3,3
10	» 10,2	71 »	» 46,1	» 20	» 21,2
15	» 15,5	72 »	» 55,8	» 30	» 39,6
18	» 18,8	73 »	3 6,6	» 40	» 58,6
21	» 22,2	74 »	» 18,6	» 50	11 18,3
24	» 25,7	75 »	» 32,1	86 0	» 38,9
27	» 29,4	76 »	» 47,4	» 10	12 0,7
30	» 33,3	77 »	4 4,9	» 20	» 23,7
33	» 37,5	78 0	» 25,0	» 30	» 48,3
36	» 41,9	» 20	» 32,4	» 40	13 15,0
39	» 46,7	» 40	» 40,2	» 50	» 43,7
41	» 50,2	79 0	» 48,5	87 0	14 14,6
43	» 53,8	» 20	» 57,2	» 10	» 47,8
45	» 57,7	» 40	5 6,4	» 20	15 23,4
47	1 1,8	80 0	» 16,2	» 30	16 0,9
49	» 6,3	» 20	» 26,5	» 40	» 40,7
51	» 11,2	» 40	» 37,6	» 50	17 23,0
53	» 16,5	81 0	» 49,3	88 0	18 8,6
55	» 22,3	» 20	6 1,8	» 10	» 58,0
57	» 28,7	» 40	» 15,2	» 20	19 51,9
59	» 32,1	82 0	» 29,6	» 30	20 50,9
60	» 39,7	» 20	» 45,1	» 40	21 55,6
61	» 43,8	» 40	7 1,7	» 50	23 6,7
62	» 48,2	83 0	» 19,7	89 0	24 24,6
63	» 52,8	» 20	» 39,2	» 10	25 49,8
64	» 57,8	» 40	8 0,3	» 20	27 22,7
65	2 3,2	84 0	» 23,3	» 30	29 3,5
66	» 8,9	» 20	» 48,4	» 40	30 52,3
67	» 15,2	» 40	9 16,0	» 50	32 49,2
68	» 21,9	85 0	» 44,5	90 0	34 54,1

Digitized by Google

261. — Tavola per cambiare la Rifrazione media in Rifrazione vera: $r = \alpha\,(1-\beta-\gamma)$

Tavola dei fattori barometrici.

Barometro in mm.	β	Barometro in mm.	β	Barometro in mm.	β
695	0,075	710	0,055	725	0,035
96	74	11	54	26	34
97	73	12	53	27	33
98	71	13	51	28	31
99	70	14	50	29	30
700	0,069	715	0,049	730	0,029
01	67	16	47	31	27
02	66	17	46	32	26
03	65	18	45	33	25
04	63	19	43	34	23
705	0,062	720	0,042	735	0,022
06	61	21	41	36	21
07	59	22	39	37	19
08	58	23	38	38	18
09	57	24	37	39	17

Tavola dei fattori termometrici.

Termom. centigradi	γ	Termom. centigradi	γ	Termom. centigradi	γ
— 15°	— 0,094	0°	— 0,034	15°	+ 0,020
— 14	89	1	30	16	23
— 13	85	2	26	17	26
— 12	81	3	23	18	30
— 11	77	4	19	19	33
— 10	— 0,073	5	— 0,015	20	+ 0,036
— 9	69	6	12	21	40
— 8	65	7	08	22	43
— 7	61	8	05	23	46
— 6	57	9	01	24	49
— 5	— 0,053	10	+ 0,002	25	+ 0,052
— 4	49	11	06	26	56
— 3	45	12	09	27	59
— 2	42	13	13	28	62
— 1	38	14	16	29	65

Digitized by Google

Esempio: La distanza zenitale apparente sia $z = 45°$; la indicazione del barometro 720 mm., del termometro 15°; sarà

$$r = 57'',7\,(1 - 0{,}042 - 0{,}020) = 57'',7.0{,}938 = 54'',1.$$

La distanza zenitale vera sarà dunque

$$z + r = 45°\ 0'\ 54'',1.$$

262. — Per evitare l'incertezza, benchè minima, delle misure astrometriche, proveniente dal fenomeno della rifrazione astronomica, gli astronomi usano vari artifizi (alcuni dei quali accenneremo nei capitoli seguenti). Osservando, per esempio, l'altezza meridiana di una stella in due luoghi di diversa latitudine geografica conosciuta; se la stella passa per lo Zenit dell'uno, la distanza zenitale nell'altro dovrebbe essere quella della differenza di latitudine geografica; il residuo rimanente, generalmente parlando, sarà effetto della rifrazione e può fornire così un controllo delle varie tavole.

Si riducono le misure da farsi, quanto si può, a misure presso lo Zenit. Fatta poi una volta la misura esatta di stelle fondamentali, le altre si fanno per mezzo di misure differenziali (micrometriche), nelle quali l'effetto della rifrazione diventa soltanto sensibile, quando la distanza zenitale degli oggetti da misurarsi è considerevole (circa 70°).

COROLLARII. — VARI FENOMENI DOVUTI ALLA RIFRAZIONE ASTRONOMICA.

I. — *Forma ellissoidale del Sole presso l'orizzonte.*

263. — Il Sole [1] ha un diametro apparente medio di 32′ (minuti primi in arco). La rifrazione all'orizzonte è maggiore di 34′. Dunque, quando il lembo inferiore A (Fig. 157) del Sole è sceso già realmente sotto l'orizzonte H H′, più di 34′, esso apparirà ancora al di sopra in A′; il lembo superiore C in C′, il centro O in O′. Essendo cioè la rifrazione in $A' > O' > C'$, il diametro verticale del Sole sembra accorciato di circa 7 minuti

(1) Lo stesso vale con poche modificazioni della Luna.

Digitized by Google

d'arco, mentre quello orizzontale B D = B′ D′ rimane sensibilmente invariato; A′ C′ : B′ D′ = 27′ 12″ : 32′.

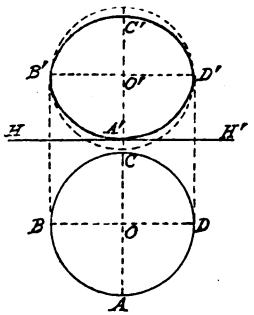


Fig. 157.

Se l'elevazione dei punti A, O, C, fosse la stessa, cioè quella del centro O, allora elevandosi questo in O′, tutti gli altri punti del lembo elevato si troverebbero sulla circonferenza del circolo puntato intorno ad O′; ora però A si eleva relativamente più di O′, C meno; quindi l'accorciamento.

Lo stesso vale di tutti gli altri punti che trovansi sullo stesso circolo verticale, donde nasce poi quella figura ellissoidale, che si ammira specialmente al tramonto del Sole, e che comincia a farsi vedere, quando l'altezza apparente del Sole diventa minore di 3 gradi.

II. — *Accelerazione del nascere e ritardo nel tramontare degli astri.*

264. — Al n. 233, dove abbiamo già trattata la quistione del nascere e tramontare delle stelle, abbiamo fatto astrazione dal fenomeno della rifrazione; ora siamo in grado, di poter apportare le dovute correzioni ai risultati ivi ottenuti.

In virtù della rifrazione astronomica (Fig. 158) un astro qualunque S non tramonti in A, punto d'incontro del suo parallelo M A coll'orizzonte H A H′, ma in T. Un circolo verticale Z T incontri il parallelo M A in A′; mentre $\sphericalangle$ Z P A = ω corrisponde al tramonto vero; l'angolo orario di A′, cioè $\sphericalangle$ Z P A′ = ω′ determinerà l'apparente arco semidiurno, corrispondente all'apparente tramontare (e levare) della stella S.

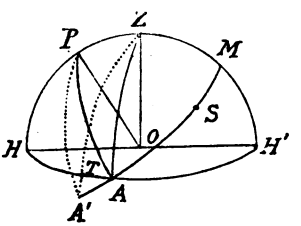


Fig 158.

Sia δ la declinazione della stella, φ la latitudine geografica del luogo di osservazione ($\sphericalangle$ H O P = φ); allora del triangolo sferico Z P A′ si conoscono i tre lati:

Digitized by Google

$$PZ = 90° - \varphi = \varphi' \; ; \quad PA' = 90° - \delta = \delta' \; ;$$
$$A'Z = 90° + r = r' \; .$$

Vale dunque la formola (num. 219)

$$\cos r' = \cos \varphi' \cos \delta' + \operatorname{sen} \varphi' \operatorname{sen} \delta' \cos \omega' \; ;$$

ossia

$$-\operatorname{sen} r = \operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega' \; ;$$

dunque

$$\cos \omega' = \frac{-\operatorname{sen} r - \operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} \delta}{\cos \varphi \cos \delta} = -\frac{\operatorname{sen} 35' + \operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} \delta}{\cos \varphi \cos \delta} \quad (1)$$

Se l'arco diurno vero ω (num. 233) è già trovato, sostituendo $\cos \omega = -\frac{\operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} \delta}{\cos \varphi \cos \delta}$, la formola (1) si può trasformare in quest'altra

$$\cos \omega' = -\frac{\operatorname{sen} r}{\cos \varphi \cos \delta} + \cos \omega = \cos \omega \left(1 - \frac{\operatorname{sen} r}{\cos \varphi \cos \delta \cos \omega} \right) \quad (2)$$

Se poi l'astro rispettivo abbia un semidiametro s apprezzabile (come il Sole e la Luna, dei quali il valore medio di s arriva a 16'), e si voglia sapere il nascere ed il tramonto del lembo superiore, dovremo aggiungere a $TA' = r$ ancora s; conseguentemente crescerà anche ω', diventando ω'', e le due formole precedenti (1) e (2) prenderanno questa forma:

$$\cos \omega'' = \frac{-\operatorname{sen}(r+s) - \operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} \delta}{\cos \varphi \cos \delta} = -\frac{\operatorname{sen} 51' + \operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} \delta}{\cos \varphi \cos \delta} \quad (3)$$

$$\cos \omega'' = -\frac{\operatorname{sen}(r+s)}{\cos \varphi \cos \delta} + \cos \omega = \cos \omega \left(1 - \frac{\operatorname{sen}(r+s)}{\cos \varphi \cos \delta \cos \omega} \right) \quad (4)$$

Nelle regioni polari la rifrazione produce un prolungamento del « giorno perpetuo », cioè del periodo durante il quale il Sole per 24 ore continue rimane visibile sopra l'orizzonte.

Digitized by Google

III. — *Variazione dell'ampiezza di una stella.*

265. — Nella figura 158 l'arco orizzontale H A rappresenti il complemento dell'ampiezza occidua di S; esso viene misurato dall'angolo $P Z A = \alpha$, che si calcola facilmente mediante il triangolo sferico P Z A, essendo

$$\cos \delta' = \cos \varphi' \cos 90° + \operatorname{sen} \varphi' \operatorname{sen} 90° \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{\cos \delta'}{\operatorname{sen} \varphi'} = \frac{\operatorname{sen} \delta}{\cos \varphi} \tag{5}$$

In conseguenza della rifrazione, il complemento dell'ampiezza apparente diventa $A T < H A$; esso viene misurato dall'angolo $P Z T = \alpha'$, che si calcola mediante il triangolo sferico P Z A'. Ritenendo la nomenclatura del numero precedente, abbiamo:

$$\cos P A' = \cos P Z \cos Z A' + \operatorname{sen} P Z \operatorname{sen} Z A' \cos P Z T ;$$
$$\operatorname{sen} \delta = \operatorname{sen} \varphi (- \operatorname{sen} r) + \cos \varphi \cos r \cos \alpha'$$

dunque

$$\cos \alpha' = \frac{\operatorname{sen} \delta + \operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} r}{\cos \varphi \cos r} \tag{6}$$

Se l'astro ha un semidiametro s, l'ampiezza apparente del lembo superiore, tangente l'orizzonte, sarà

$$\cos \alpha'' = \frac{\operatorname{sen} \delta + \operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} (r + s)}{\cos \varphi \cos (r + s)} \tag{7}$$

Volendo utilizzare il valore (già trovato di $\alpha = \frac{\operatorname{sen} \delta}{\cos \varphi}$, le formole (6) e (7) si trasformano facilmente nelle seguenti

$$\cos \alpha' = \frac{\cos \alpha}{\cos r} \left(1 + \frac{\operatorname{tang} \varphi \operatorname{sen} r}{\cos \alpha} \right) \tag{8}$$

$$\cos \alpha'' = \frac{\cos \alpha}{\cos (r + s)} \left(1 + \frac{\operatorname{tang} \varphi \operatorname{sen} (r + s)}{\cos \alpha} \right) \tag{9}$$

Digitized by Google

Anzi se la latitudine geografica φ non è troppo grande, e l'astro non si avvicina troppo a quelli circompolari, che non tramontano, nelle formole precedenti [senza errore sensibile, essendo piccolissimo l'angolo r (ed $r + s$)] si può sostituire $\cos r = \cos (r + s) = 1$; sen $r = r$; sen $(r + s) = r + s$.

CAPITOLO II.

LA PARALLASSE.

266. — Le stelle fisse, come fu mostrato da principio (n. 4), trovansi ad una distanza tale dalla Terra, che questa, veduta dalla stella anche più vicina (se fosse pur visibile), apparirebbe come un punto senza estensione sensibile. Viceversa i raggi provenienti da una stella qualunque fissa, a due punti diversi della Terra (siano pure antipodi) possono considerarsi come paralleli. I due osservatori proietteranno la stella osservata sullo stesso punto del cielo.

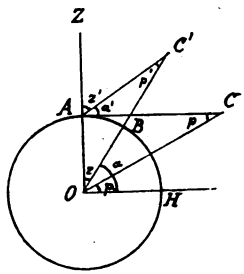


Fig. 159.

Non è più così, quando trattasi di un astro vicino, dei pianeti, delle comete più vicine, del Sole e sopra tutto della Luna. Due cannocchiali diretti verso il centro della Luna (da due stazioni del globo terrestre, abbastanza distanti l'una dall'altra, non possono essere più considerati come paralleli, anzi essi faranno nel centro della Luna stessa un angolo ben mensurabile, che chiamasi perciò angolo parallattico [1] o semplicemente Parallasse ($\pi\alpha\rho\acute{\alpha}\lambda\lambda\alpha\xi\iota\varsigma$ = spostamento), poichè misura lo spostamento del raggio visuale, dovuto al cambiamento del luogo di osservazione.

Consideriamo ancora la Terra come un globo perfetto (Fig. 159) A B H; A sia un luogo di osservazione, O H $\perp$ A O indichi il suo orizzonte razionale, A C $\parallel$ O H l'orizzonte apparente.

(1) In un senso diverso da quello accennato, num. 230.

Digitized by Google

Il centro C dell'astro vicino si trovi nell'orizzonte apparente di A, la sua altezza apparente [1] sarebbe zero, mentre veduto dal centro O della terra, riferito all'orizzonte OH, avrebbe un'altezza vera (geocentrica)

$$\sphericalangle HOC = \sphericalangle ACO = p.$$

L'angolo p chiamasi **Parallasse orizzontale**. Chiamando r il raggio terrestre AO, d la distanza di C da O, abbiamo la formola

$$\operatorname{sen} p = \frac{r}{d} \qquad (1)$$

La parallasse sarà diversa, se l'astro C', osservato in A ha già una certa altezza apparente $C'AC < C'OH$, ossia $a' < a$; la differenza $a - a' = z' - z = \sphericalangle AC'O = p'$ chiamasi perciò **Parallasse di altezza**. Il triangolo AC'O ci dà immediatamente

$$\operatorname{sen} p' : \operatorname{sen} C'AO = AO : OC'$$

ossia

$$\operatorname{sen} p' : \operatorname{sen} (180 - z') = r : d$$

dunque

$$\operatorname{sen} p' = \frac{r}{d} \operatorname{sen} z' = \operatorname{sen} p \operatorname{sen} z' = \operatorname{sen} p \cos a' \qquad (2)$$

Cioè il seno della *Parallasse di altezza di un astro è uguale alla parallasse orizzontale, moltiplicata per il coseno dell'altezza apparente.* [2]

267. — La parallasse di altezza, variabile coll'altezza ossia colla distanza zenitale dell'astro, diventa *zero*, se l'astro sta allo zenit dell'osservatore. La parallasse si potrebbe quindi anche definire così: « l'angolo sotto il quale un osservatore,

(1) Supposte le correzioni, dovute alla rifrazione astronomica.

(2) Corretta della rifrazione atmosferica. Si noti poi, che il valore di p, essendo sempre assai piccolo (il suo massimo nel caso della Luna appena supera un grado), si potrà nelle formole (1) e (2) sostituire invece del seno l'arco corrispondente. Essendo però il primo espresso in funzione del raggio $r = 206265''$, per ottenere p in secondi di arco, si dovrà moltiplicare il suo seno col detto numero (Cfr. num. 156).

Digitized by Google

collocato sull'astro C', vedrebbe le due stazioni A ed O (rispettivamente B) ».

Come la rifrazione, così la parallasse produce soltanto spostamenti nel circolo verticale; (1) mentre però la prima fa apparire un astro più alto di quello che non è, la parallasse piuttosto diminuisce l'altezza vera, donde in parte si compensano.

Basterà poi ricordare, che un cambiamento di altezza produce pure cambiamenti nelle coordinate equatoriali ed eclitticali.

Il valore della parallasse orizzontale della Luna, a cagione della distanza variabile, varia tra 54′ e 61′; quindi il valore medio sarà di circa 57′,5; quello della parallasse solare è di 8″,80; i pianeti più lontani hanno una parallasse: ♃ di 2″, ♄ di 1″, ♂ di 0″,5, ♆ 0″,3.

268. — L'uso pratico della parallasse consiste in ciò, che le effemeridi astronomiche, non potendo determinare certi fenomeni celesti dipendenti dalla parallasse [come sono le ecclissi, le occultazioni di stelle dietro la Luna, le distanze lunari dalle stelle principali, ecc.] per tutti i vari punti del globo terrestre, le riferiscono al centro della Terra; donde poi ciascun osservatore, per mezzo del calcolo, ricava i dati convenienti per la sua stazione. (2)

Viceversa l'unificazione delle osservazioni di tali fenomeni, fatte in varie stazioni, richiede che esse prima vengano riferite ad uno stesso luogo (ideale), quale è il centro della Terra; allora potranno essere sottomesse al calcolo definitivo. Quindi gli osservatori, p. es., di una cometa nuova, sogliono aggiungere alle loro osservazioni i *fattori parallattici* rispettivi. Siccome però in questi c'entra la figura della Terra, ritorneremo a questa materia, avendo già trattata l'altra.

(1) Sempre però nella supposizione d'una Terra perfettamente sferica. Delle correzioni da farsi a cagione della sfericità non perfetta di questa tratteremo più sotto.

(2) Le stesse effemeridi sogliono perciò anche registrare i vari valori della parallasse: della Luna due volte per ogni giorno; del Sole con intervalli di dieci giorni; dei pianeti per ogni giorno. Vedi «Nautical Almanac».

Digitized by Google

CAPITOLO III.

LA POSIZIONE GEOGRAFICA DELL'OSSERVATORE SULLA TERRA.

268. — Il globo terrestre, collocato apparentemente col suo centro nel centro della Sfera celeste (n. 40), ha il suo sistema equatoriale di coordinate angolari analogo a quello della Sfera celeste. All'ascensione retta di quella corrisponde qui la **longitudine geografica**, alla declinazione la **latitudine geografica**. Come le declinazioni si contano da 0° a 90° dall'equatore verso i poli (positive verso Nord, negative verso Sud), così le latitudini geografiche; ai circoli di declinazione della Sfera celeste corrispondono i vari *Meridiani* della Terra. Come poi il punto d'Ariete serve per punto di partenza delle Ascensioni rette, così un *Meridiano unico iniziale* potrebbe servire per il computo delle varie longitudini. Siccome però finora nessuna convenzione internazionale è stata conclusa intorno a questo punto, si suol prendere un Meridiano relativo qualunque conosciuto, determinando semplicemente la differenza di longitudine, che esiste tra questo e quello del luogo in questione, la quale differenza poi non è altro, che l'angolo che fanno i due rispettivi piani meridiani intersecantesi nell'asse della Terra. (1)

Siccome per la giusta interpretazione, per la redazione ed il confronto delle osservazioni astrometriche è di somma im-

(1) Ipparco sembra essere stato il primo nel sostituire alle misure incerte degli antichi viaggiatori il sistema di coordinate geografiche, contando le longitudini dall'isola di Rodi (suo luogo di osservazione) nell'Arcipelago.

Nell'êra cristiana si cominciò a contare le longitudini dalle Isole Fortunate (Canarie), allora probabilmente credute essere le ultime terre verso Occidente. Quando le misure poi diventarono più precise, si assegnò sopra queste isole un punto ben determinato e facilmente osservabile, cioè il Picco di Teneriffa: quel grande cono vulcanico, che si leva sull'isola omonima ad un'altezza di 3710 metri al disopra del livello del mare.

Verso il 1630, dietro proposta del Cardinale Richelieu, si scelse in Parigi il Meridiano dell'isola del Ferro, la più occidentale del

Digitized by Google

portanza, di determinare esattamente, in qual punto della superficie terrestre le osservazioni siano state fatte, ognun vede, quanto sia necessario, di saper bene indicare la posizione geografica di una stazione qualunque.

Per una prima determinazione noi supporremo ancora la Terra essere un globo perfetto; soggiungeremo poi le piccole modificazioni da farsi (a cagione della piccola depressione polare) nel capitolo seguente.

Art. I. — Determinazione della latitudine geografica.

269. — La determinazione più speditiva sarà sempre quella fatta dietro misure di **altezze stellari nel Meridiano** (Fig. 160). Il semicerchio HPZEH′ rappresenti il Meridiano locale co'suoi punti caratteristici; H ed H′ indichino l'orizzonte, P il polo, Z lo zenit, E un punto dell'Equatore; allora l'altezza polare $HOP = \varphi$ rappresenterà la latitudine geografica ($\sphericalangle ZOE = \varphi$); saranno pure uguali gli angoli complementari

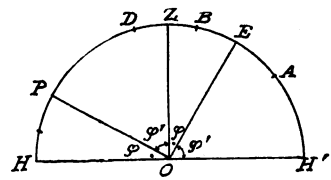


Fig. 160.

$$\sphericalangle POZ = \sphericalangle EOH' = \varphi' = 90° - \varphi$$

che indicano quindi la collatitudine geografica.

Misurando l'altezza a di una stella qualunque di declinazione conosciuta δ, si deduce immediatamente la latitudine geografica.

gruppo delle sette Canarie, o più precisamente ancora il Capo più occidentale dell'isola, che fu poi (1634) per decreto regio introdotto ufficialmente in Francia. Questo meridiano iniziale era situato 20° 1′ 45″ all'Ovest di Parigi.

Gli Astronomi però continuarono a scegliere piuttosto come iniziale un meridiano ben determinabile e più facilmente osservabile. Soltanto, quando al principio del secolo XVIII si chiamò Meridiano dell'isola del Ferro il meridiano esattamente 20° distante da quello di Parigi, questo fu più universalmente accettato, almeno presso i Geografi. Infatti questo meridiano non tocca l'isola, ma passa tutto nel mare vicino.

Le effemeridi moderne astronomiche dei vari paesi sogliono ridurre tutto al Meridiano della capitale, dove vengono pubblicate: Greenwich (Londra), Parigi, Berlino, San Fernando, Washington, ecc. (Cfr. num. 82).

Digitized by Google

Se la stella si trovasse sull'Equatore culminante in E, la sua altezza sarebbe senz'altro uguale alla collatitudine φ', la sua distanza zenitale uguale alla latitudine φ.

Se la stella culmina nello Zenit (Z), la sua declinazione δ sarà uguale alla latitudine φ; se ci fosse una stella esattamente polare ($\delta = 90°$), l'altezza misurata sarebbe di nuovo uguale a φ.

Ma se anche la stella trovasi in un punto qualunque intermedio tra H P Z E H', in A, B, D, ecc., la determinazione della latitudine non è meno facile, quando si conosca la declinazione della stella; basterà aggiungere, ovvero sottrarre, la declinazione, ossia la codeclinazione, dall'altezza misurata, per avere il valore di φ ovvero di φ'.

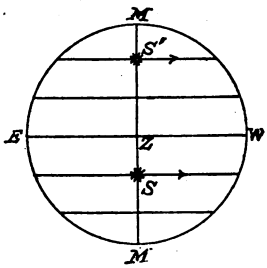


Fig. 161.

270. — Una **stella circumpolare** colle sue culminazioni superiore ed inferiore [corretta bene la rifrazione astronomica] fornisce un metodo indipendente dalla declinazione della stella.

In fatti se δ indica la declinazione, δ' la codeclinazione, a l'altezza della stella osservata nella culminazione superiore, a' quella della culminazione inferiore, avremo

$$\left.\begin{array}{r} \varphi = a - \delta' \\ \varphi = a' + \delta' \\ \hline 2\varphi = a + a' \end{array}\right\} \quad \varphi = \frac{1}{2}(a + a').$$

271. — **Due stelle di distanza zenitale uguale** rendono la determinazione della latitudine geografica indipendente dalla rifrazione [1] atmosferica.

Siano B e D (Fig. 160) i due punti culminanti delle stelle; $BZ = DZ = z$; le rispettive declinazioni $EB = \delta$, $ED = \delta'$; saranno:

$$\left.\begin{array}{r} \varphi = \delta + z \\ \varphi = \delta' - z \\ \hline 2\varphi = \delta + \delta' \end{array}\right\} \quad \varphi = \frac{1}{2}(\delta + \delta').$$

(1) Anche quando le distanze zenitali non fossero perfettamente uguali, l'effetto della rifrazione svanirebbe sufficientemente.

Digitized by Google

Cioè la latitudine geografica è uguale alla semisomma delle rispettive declinazioni delle due stelle.

Di più la determinazione suddetta può farsi con uno strumento senza circolo (verticale) graduato; poichè non essendo necessario che le due stelle passino allo stesso tempo al Meridiano, basterebbe girare un cannocchiale qualunque O B intorno ad un asse verticale O Z per metterlo nella posizione O D.

272. — Due stelle culminanti in vicinanza dello Zenit, cosicchè siano visibili nello stesso campo di un cannocchiale verticale (*Settore zenitale*), [1] rendono assai esatta la determinazione della latitudine (Fig. 161).

Il circolo E M W M′ rappresenti il campo del telescopio, puntato verso lo Zenit Z, i fili paralleli micrometrici (n. 187) siano intersecati dal filo M M′, messo in coincidenza col Meridiano.

Siano S ed S′ i due punti di passaggio delle due stelle, delle quali si misurano le distanze Z S $= z$ e Z S′ $= z'$; se δ e δ' sono le rispettive declinazioni, avremo, come nel caso precedente,

$$\left.\begin{array}{l} \varphi = \delta + z \\ \varphi = \delta' - z' \\ \hline 2\varphi = \delta + \delta' + z - z' \end{array}\right\} \quad \varphi = \frac{1}{2}(\delta + \delta' + z - z').$$

L' unica difficoltà, che questo metodo (forse il più esatto di tutti gli altri), [1] potrebbe offrire in pratica, sarà di collocare lo strumento col suo asse ottico perfettamente perpendicolare.

Per ottenere questo, si punta il telescopio prima verso il Nadir, sottoponendo uno specchio a mercurio (orizzonte artificiale, n. 162) all'obbiettivo, in maniera che il crocicchio dei fili micrometrici, veduto direttamente, copra perfettamente la sua immagine riflessa; poi si gira il telescopio di 180° intorno al suo asse orizzontale. [2]

(1) Supposta però la determinazione indipendente e perfetta delle declinazioni δ e δ'.

(2) Per evitare anche questa mossa, che potrebbe di nuovo rendere meno certa la collimazione del punto zenitale, il prof. Deichmüller (di Bonn) ha inventato un ingegnoso metodo di fare galleggiare uno specchio

Digitized by Google

273. — I metodi esposti non possono sempre adoperarsi; anzi talvolta accade, che **una stella qualunque, di coordinate equatoriali conosciute, osservata fuori del Meridiano,** debba servire alla determinazione della latitudine geografica. In questo caso basta misurare bene l'altezza della stella, e notare il tempo dell'osservazione, per dedurne poi la cercata altezza polare.

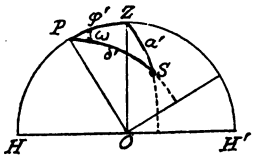


Fig. 162.

Sia (Fig. 162) S la stella, per la quale passino i due circoli massimi P S (di declinazione) e Z S (verticale). Avremo così il solito triangolo sferico (astronomico), del quale si conoscono la codeclinazione della stella $P S = \delta' = 90° - \delta$; la coaltezza $Z S = a' = 90° - a$, e l'angolo orario $Z P S = \omega$, determinato dall'ora siderale al momento dell'osservazione. Si cerca la collatitudine geografica $P Z = \varphi' = 90° - \varphi$.

Secondo la formola (1), n. 219, abbiamo:

$$\cos a' = \cos \varphi' \cos \delta' + \operatorname{sen} \varphi' \operatorname{sen} \delta' \cos \omega$$

ossia

$$\operatorname{sen} a = \operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \qquad (1)$$

Per mettere in evidenza l'incognita φ, poniamo il fattore di $\cos \varphi$, cioè $\cos \delta \cos \omega = x \operatorname{sen} \delta$; dove x rappresenta un numero incognito tra $+\infty$ e $-\infty$; il quale può rappresentarsi con $\operatorname{cotg} \varepsilon$, cosicchè

$$\cos \delta \cos \omega = \operatorname{sen} \delta \operatorname{cotg} \varepsilon = \operatorname{sen} \delta \frac{\cos \varepsilon}{\operatorname{sen} \varepsilon} \qquad (2)$$

Sostituendo questo valore ausiliare di $\cos \delta \cos \omega$ nell'equazione (1), sarà

$$\operatorname{sen} a = \operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} \delta + \cos \varphi \operatorname{sen} \delta \frac{\cos \varepsilon}{\operatorname{sen} \varepsilon}$$

$$\operatorname{sen} a = \frac{\operatorname{sen} \delta}{\operatorname{sen} \varepsilon} \left(\operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} \varepsilon + \cos \varphi \cos \varepsilon \right) = \frac{\operatorname{sen} \delta}{\operatorname{sen} \varepsilon} \cdot \cos \pm (\varphi - \varepsilon) \qquad (3)$$

di vetro perfettamente levigato, sopra un anello di mercurio al disopra dell' obbiettivo, già puntato verso lo Zenit. (« Astr. Nachrichten », n. 3394).

Digitized by Google

Per mezzo di queste equazioni il problema è facilmente solubile. La (2) fornisce il valore di ε, la (3) quello di $(\varphi - \varepsilon)$ e quindi φ. Sarà poi facile sapere, quale valore di $(\varphi - \varepsilon)$ sia da prendersi, il positivo ovvero il negativo.(1)

ART. II. — DETERMINAZIONE DELLA LONGITUDINE GEOGRAFICA.

274. — Metodo di segnali terrestri, visibili allo stesso tempo nelle due stazioni, delle quali si vuol determinare la differenza di longitudine geografica.

Tutti i vari metodi, adoperati allo scopo di determinare questa differenza, si riducono a questo, di conoscere la differenza dei *tempi locali* [solare (medio o vero) ovvero siderale] dei due luoghi in quistione. Se due osservatori, uno in A, l'altro in B, notano ciascuno il momento preciso d'un segno dato, (2) confrontando i tempi segnati dagli orologi locali, avranno senz'altro la differenza di longitudine geografica.

(1) Sia, per esempio, $\delta = 2^\circ\ 51'\ 30''$; $\omega = 1^h\ 20^m\ 30^s = 20^\circ\ 7'\ 30''$; $a = 57^\circ\ 35'\ 11''$; allora si troverà $\varepsilon = 3^\circ\ 2'\ 38''$; $\pm(\varphi - \varepsilon) = 25^\circ\ 58'\ 49''$; quindi φ avrà uno dei due valori $29^\circ\ 1'\ 27''$, ovvero $-22^\circ\ 56'\ 11''$. L'osservatore non può essere in dubbio intorno alla scelta.

Un caso particolare del metodo qui spiegato è quello, di osservare l'altezza della stella polare fuori del meridiano, e dedurne il valore della latitudine. Questo caso però (di uso frequente presso i viaggiatori) ammette soluzioni più spedite, le quali per amore di brevità tralasciamo. Il calcolo da farsi viene facilitato dalle Tavole delle Effemeridi astronomiche. Vedi per es. Nautical Almanac: Tables for finding the Latitude of a place by observations of the Pole Star. Le Tavole sono fondate sopra la formola:

$$l = a - p\cos h + \frac{1}{2}\operatorname{sen} 1''\,(p \operatorname{sen} h)^2 \operatorname{tang} a$$

nella quale l significa la latitudine geografica, a l'altezza vera, p l'apparente distanza polare (codeclinazione), h l'angolo orario della stella.

La formola stessa vedesi spiegata dallo Chauvenet, «Manual of sferical and practical Astronomy», Philadelphia, 1867, vol. I, 253. Come pure dal Brünnow, «Sphärische Astronomie», Berlin, 1881, p. 277 sgg.

(2) Di notte tempo tali segni si danno facilmente, per mezzo d'un lume acceso al dato momento o spento. Di giorno, un raggio riflesso del Sole per mezzo d'uno specchio mandato da una stazione all'altra può servire. Un globo, che ben riflette la luce (Eliotropio), manderà sempre (qualunque sia la posizione del Sole sopra l'orizzonte) un tale raggio

Digitized by Google

275. — Questo metodo potrà servire soltanto, dove la distanza dei due luoghi è relativamente piccola (fino a 70 chilometri incirca). Per distanze maggiori si può ricorrere ai **segnali celesti**, dati dagli stessi astri a cagione di certi fenomeni ben determinati che ci offrono. Tra questi i più adattati allo scopo sono quelli, che devono la loro origine al circolare dei quattro **satelliti di Giove** intorno al pianeta principale (Fig. 163).

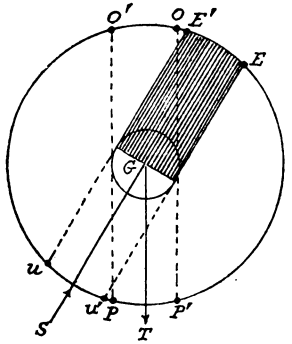


Fig. 163.

Il globetto G rappresenti il pianeta illuminato dal Sole S. Dalla parte opposta al Sole si vede un cilindro o cono ombroso, nel quale il satellite, che gira intorno a G, entra in E, trovandosi ecclissato quasi istantaneamente, e quindi diventando invisibile ad un osservatore terrestre in T. Arrivato in E', il satellite esce dall'ombra, l'ecclisse cessa. Arrivato però in O, diventa di nuovo invisibile, occultandosi dietro il pianeta; in O' l'occultazione cessa. Arrivato in U, l'ombra del satellite comincia a proiettarsi sul pianeta, producendo sulla superficie di questo una macchietta nera, che, veduta dalla Terra, attraversa il disco di Giove, dal quale esce al momento dell'arrivo del satellite in U'. Se poi il satellite trovasi in P, si vede lo stesso proiettarsi (ora come un punto più brillante) sul pianeta stesso; il punto attraversa similmente il disco di Giove, terminando il suo *passaggio* in P'.

Gli stessi fenomeni possono osservarsi, almeno in parte, rispetto ad un satellite qualunque (eccettuato il quinto, recentemente scoperto, visibile soltanto nei telescopi più grandi); sono quindi frequentissimi anzi giornalieri, ed inoltre prevedibili e già calcolati e pubblicati anticipatamente per tutti i giorni dell'anno nelle effemeridi astronomiche. (1)

verso le due stazioni; basterebbe quindi coprirlo ad un dato momento ed osservare questa estinzione istantanea del raggio riflesso nei due luoghi. Molti altri artifizi facilmente s'immaginano.

(1) Nautical Almanac: « Satellites of Jupiter » (Geocentric Conjunctions, Eclipses, Occultations, etc.).

Digitized by Google

Quando non si richiedesse grande precisione, potrebbero servire anche le ecclissi di Luna, colle loro varie fasi, pubblicate nei Calendari ed osservabili allo stesso tempo in un emisfero intero del globo terrestre; era questo il mezzo usitato presso gli antichi. I vari momenti però rimangono sempre un po' indecisi. Altri fenomeni celesti, come l'ecclisse del Sole, le occultazioni di stelle fisse o pianeti dietro la Luna, richiedono una correzione della parallasse, per poter essere utilizzati come segnali celesti.

276. — Il trasporto d'un cronometro, da un luogo A ad un altro B, è uno dei mezzi più ordinari, per determinare la differenza di longitudine. Il cronometro, regolato dietro il tempo di A, ritiene questo e lo indica poi alla stazione B; accertata poi l'ora locale di B, e confrontando il tempo di B con quello di A, si trova la differenza cercata. (1)

Questo metodo è di uso continuo presso i navigatori che portano seco i loro « cronometri marini », i quali indicano il tempo del porto di partenza o di un Meridiano determinato qualunque. Vedremo più sotto, come essi poi determinino il tempo locale, cioè il tempo del Meridiano, sul quale si trovano, per cavarne la differenza di longitudine.

277. — Dopo l'invenzione del **Telegrafo elettrico** il trasporto (materiale) del cronometro non è più necessario, potendosi trasmettere l'indicazione del medesimo quasi istantaneamente da una stazione all'altra.

Questo metodo è stato portato ad un perfezionamento tale, che non lascia quasi niente a desiderare. (2) Perfino il difetto deri-

(1) Aumentando il numero dei cronometri, il loro andamento sarà più controllabile. Si sono trasportati a bordo di una nave 50 fino a 70 cronometri (più d'una volta) da un luogo all'altro e viceversa, per accertarne la differenza fino all'ultimo decimo di un secondo di tempo. Così, per es., quella tra Liverpool e Cambridge (Stati Uniti dell'America) di $4^h\ 32^m\ 31^s,84$ fu determinata con un errore probabile di $\pm 0^s,19$ soltanto.

(2) La differenza di longitudine tra Greenwich (Londra) e Washington (Stati Uniti d'America), determinata in questo modo, è di $5^h\ 8^m\ 12^s,39$. Il metodo precedente del trasporto di cronometri aveva fornito il valore di $5^h\ 8^m\ 11^s,8$. La prima decimale dei secondi col metodo telegrafico è sicura, anche la seconda con un'incertezza però di circa $0^s,02$.

Digitized by Google

vato dal piccolo intervallo di tempo, richiesto dalla trasmissione della corrente elettrica, si è saputo eliminare, come pure le imperfezioni, dovute a vari strumenti adoperati nelle due stazioni; anzi lo stesso ritardo, proveniente dall'apprensione più o meno veloce dei due osservatori: cambiando cioè strumenti, osservatori e direzione della trasmissione elettrica.

L'arco A B (Fig. 164) rappresenti un parallelo della superficie terrestre, O A ed O B indichino i piani meridiani rispettivi, che nell'asse della Terra O fanno un angolo $AOB = \lambda$, che rappresenta la differenza di longitudine tra A e B. Ora supponiamo che A, osservando la culminazione di una stella C, mandi un segno a B, il quale, ricevuto il segno, nota la culminazione di un'altra stella D. Se la trasmissione è istantanea, l'angolo C O D indica la differenza dell'Ascensione retta delle due stelle, che sarà uguale alla differenza di longitudine geografica, essendo $\measuredangle COD = \measuredangle AOB = \measuredangle \lambda$.

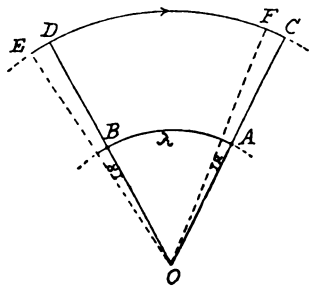


Fig. 164.

Se la trasmissione del segno di A ha richiesto un piccolo intervallo di tempo, all'arrivo del segnale (per il moto apparente della Sfera celeste nel senso della freccia), D avrà già passato il Meridiano di B; un'altra stella E troverassi nel Meridiano di B; l'angolo misurato sarà troppo grande, cioè $AOD + BOE = \lambda + \alpha$. Invertendo la direzione della trasmissione, e supponendo lo stesso ritardo, B osservando D, mandi un segno ad A, questo non osserva più C, ma F, sottentrato in luogo di C, l'angolo misurato sarà troppo piccolo, cioè $BOA - AOF = \lambda - \alpha$.

Prendendo la media dei due risultati avremo

$$\lambda = \frac{1}{2}(\lambda + \alpha + \lambda - \alpha).$$

278. — Le distanze lunari, cioè le distanze della Luna dalle stelle principali dello Zodiaco, offrono un mezzo assai

Digitized by Google

spedito, benchè meno esatto, per la determinazione della longitudine geografica. (1)

Siccome la Luna ha un moto proprio considerevole attraverso la zona stellata della regione zodiacale del cielo, essa può essere considerata come l'indice d'un grande orologio celeste, visibile a tutti, del quale le stelle principali ed i pianeti segnano le cifre. Il movimento dell'indice è noto e anticipatamente calcolato e pubblicato dalle effemeridi astronomiche, (2) ma per un osservatore ideale, collocato al centro della Terra. La rifrazione e parallasse modificano naturalmente il risultato, e tutto l'artifizio sta in ciò, di dedurre la distanza, misurata (per mezzo del Sestante), al centro della Terra, per avere poi l'ora del Meridiano dell'effemeride. Determinata poi indipendentemente l'ora locale, si conosce la differenza di longitudine.

279. — La Luna culminante presso certe stelle fornisce un altro metodo facile per la determinazione della longitudine, il quale ha questo vantaggio sopra il precedente, che esso è immune dalla rifrazione, e dalla parallasse.

Il moto proprio apparente della Luna da Ovest verso Est (in Ascensione retta) tra le stelle fisse è così rapido, che nell'intervallo di due minuti di tempo progredisce quasi un minuto d'arco. Quindi se una stella passa insieme col centro della Luna a un dato Meridiano A, arriverà prima la stella, poi

(1) Amerigo Vespucci nel 1499 si servì già di questo metodo, per la determinazione della longitudine della costa del Venezuela. Portando seco le effemeridi del Regiomontano (Giov. Müller), calcolate per il Meridiano di Norimberga, trovò ivi, pel giorno 23 agosto, la congiunzione del pianeta Marte colla Luna calcolata per le 12^h di mezzanotte. La distanza misurata nel Venezuela invece indicava la congiunzione già essere accaduta alle $6\ ^1/_2$, donde concluse che la differenza di longitudine tra le due stazioni dovea essere di circa 5 ore e mezza.

(2) Il Nautical Almanac, sotto il titolo di Lunar Distances, contiene ogni anno più di 12 000 distanze della Luna dal Sole, dai pianeti più visibili (Venere, Marte, Giove, Saturno) e dalle stelle: α Arietis, Aldebaran, Pollux, Regulus, Spica, Antares, Atair, Fomalhaut, α Pegasi). Un apparato tale potrebbe sembrare sproporzionato, se si riflette che oggidì, col perfezionamento dei cronometri marini, rarissime volte si ricorre al metodo suindicato, per avere l'ora del porto. Nondimeno nel caso di bisogno può essere un mezzo per salvare forse molte vite.

Digitized by Google

(4^s dopo) il centro lunare. Notando dunque la differenza degli appulsi della stella e del centro lunare a due meridiani, e conoscendo precisamente lo spostamento della Luna, fatto nel frattempo, si deduce la differenza di longitudine. (1)

280. — Una triangolazione geodetica potrà servire non soltanto per la determinazione della differenza di longitudine, ma anche di latitudine geografica, specialmente quando si tratta di luoghi vicini.

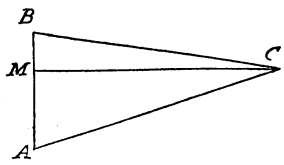


Fig. 165.

Volendo, per es., determinare le coordinate geografiche del punto A (Fig. 165), conoscendo quelle di C, basterà misurare la distanza lineare di due punti, A e B, situati nella meridiana orizzontale di A; ugualmente si misurano gli angoli orizzontali BAC ed ABC. Dai tre dati elementi del triangolo ABC si calcolano i lati AC e BC, ed indi i due triangoli AMC e BMC, rettangoli in M; AM corrisponde alla differenza di latitudine, MC a quella di longitudine. (2)

Corollario. — Astronautica.

281. — La determinazione del luogo, dove trovasi un vascello in mare, si riduce a quella delle coordinate geografiche; donde i principii fin qui esposti trovano una continua applicazione nella navigazione. L'arte di navigare richiede quindi molte cognizioni astronomiche, che comprendonsi col nome collettivo di Astronautica. Attese le circostanze particolari, nelle

(1) Anche per questo modo si trova nel Nautical Almanac sotto il titolo: Moon culminating Stars, per tutti i giorni dell'anno una lista di stelle, che passano al Meridiano (di Greenwich) più o meno presso la Luna (tanto al disopra, quanto al disotto dell'orizzonte) con tutti i dati richiesti per la soluzione del non difficile problema. Si noti poi, che in quelle misure lunari si suol collimare direttamente il lembo, aggiungendo il noto semidiametro, per ottenere la misura del centro.

(2) Tavole delle coordinate geografiche dei luoghi principali della Terra, specialmente degli Osservatori astronomici, trovansi nelle varie effemeridi; una lista assai completa viene annualmente pubblicata nell'Annuaire du Bureau des Longitudes (Parigi, Gauthier-Villars).

Digitized by Google

quali trovasi un osservatore a bordo d'una nave, è chiaro, che i metodi che suppongono strumenti bene e stabilmente collocati, un Meridiano ben determinato, ecc., non potranno applicarsi; anche quei metodi esatti, che richiedono un calcolo lungo e penoso, saranno di poco uso; quello che ci vuole per l'uomo di mare, sono metodi semplici, facili e sopratutto di calcolo breve.

282. — La latitudine geografica suol determinarsi più comunemente, misurando col Sestante (n. 158) la massima altezza del Sole. Poco prima di mezzogiorno, quando il Sole si avvicina alla culminazione, si prende l'altezza del medesimo, accompagnando colla « vite di richiamo » il suo crescente alzarsi sull'orizzonte. Quando l'altezza diventa stazionaria, la culminazione ha luogo, il Sole trovasi nel Meridiano; passato il quale, comincia a calare. Basta quindi aggiungere (o sottrarre) la declinazione del Sole all'altezza massima misurata, per avere l'altezza dell'Equatore, ossia la collatitudine geografica (complemento della latitudine). Di notte la Luna e le stelle servono allo stesso scopo.

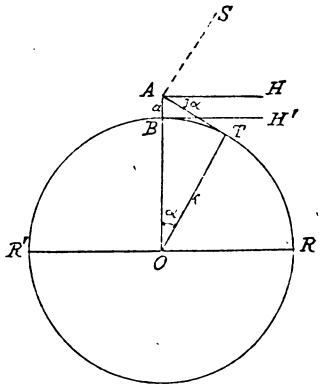


Fig. 166.

283. — È chiaro, che l'osservazione fatta dovrà essere corretta dall'errore della rifrazione e della cosidetta **depressione dell'orizzonte.** L'orizzonte apparente sensibile (cioè il confine lontano tra cielo e mare) che necessariamente viene adoperato in queste misure, non coincide coll'orizzonte vero e razionale, ma mostra una certa depressione al disotto di questo, crescente coll'elevarsi dell'osservatore al di sopra del livello del mare; la quale depressione però facilmente si può valutare. Infatti sia (Fig. 166) B il punto al livello del mare, al di sopra del quale l'osservatore A si trovi elevato dell'altezza $a = AB$. AT sia tangente al globo terrestre (livellato dalle acque del mare circostante). AT sarà la visuale dell'orizzonte apparente di A, mentre l'orizzonte vero sarebbe $AH \parallel BH'$, quindi $\sphericalangle TAH = \sphericalangle \alpha$ misura la depressione dell'orizzonte appa-

Digitized by Google

rente: dall'altezza apparente S A T della stella S si dovrà sottrarre α, per avere l'altezza vera S A H. (1)

Per conoscere il valore di α, congiungiamo T col centro O della Terra, sia $TO = BO = r$ il raggio (noto) terrestre, sarà $\angle TOA = \alpha$; quindi

$$\cos \alpha = \frac{r}{r + a}.$$

284. — La **longitudine geografica** si determina mediante il tempo di bordo, il quale, confrontato coll'ora del cronometro, (2) fornisce la differenza di longitudine.

In mancanza del meridiano ben tracciato non è tanto facile, conoscere esattamente l'ora locale. Vi sono però dei mezzi che permettono anche di giorno una stima sufficientemente esatta, per conoscere la latitudine geografica (φ); misurando poi l'altezza di una stella o del Sole, (3) si calcola secondo il metodo già esposto (n. 230) l'angolo orario, dal quale risulta l'ora cercata.

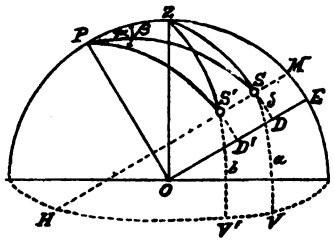


Fig. 167.

285. — Un metodo frequentemente usato è il seguente della misura di due **altezze circumeridiane** del Sole. M H (Fig. 167) sia il parallelo sul quale il Sole si muove dal Meridiano verso l'orizzonte.

Poco dopo il passaggio al Meridiano (che ha fornito la latitudine geografica φ, e quindi $PZ = \varphi' = 90° - \varphi$), si prende

(1) Tavole apposite coll'argomento a, danno senz'altro α; se, per es., $a = 1$ metro, $\alpha = 1' 47''$; se $a = 5$ m., $\alpha = 3' 59''$; se $a = 10$ metri, $\alpha = 5' 38''$, ecc.

(2) Se il cronometro, per un caso qualunque, si fosse arrestato, bisognerebbe ricorrere al metodo delle distanze lunari (num. 278). Per evitare simili inconvenienti, i grandi bastimenti sogliono essere forniti di più cronometri, la cura dei quali, per maggiore precauzione, viene affidata ad ufficiali diversi.

(3) Il tempo migliore per fare questa determinazione si è, quando l'altezza del Sole cambia più rapidamente; cioè quando l'angolo orario è uguale a più o meno tre ore.

Digitized by Google

col sestante l'altezza $SV = a$; circa 10 minuti più tardi trovandosi il Sole in S', si prende l'altezza $S'V' = b$. (1) La declinazione δ del Sole nell'intervallo delle due osservazioni sia rimasta la stessa. I due triangoli sferici PSZ e PS'Z hanno comune il lato $PZ = \varphi' = 90° - \varphi$, sono uguali i due lati $PS = PS' = \delta' = 90° - \delta$; sono noti i due lati

$$a' = 90° - a, \; b' = 90° - b.$$

Si conosce pure l'angolo $S'PS = S'PZ - SPZ = \beta - \alpha$; quello che si cerca è l'angolo orario α, ovvero β.

Dal $\triangle$ SPZ abbiamo $\cos a' = \cos\delta' \cos\varphi' + \operatorname{sen}\delta' \operatorname{sen}\varphi' \cos\alpha$
Dal $\triangle$ S'PZ abbiamo $\cos b' = \cos\delta' \cos\varphi' + \operatorname{sen}\delta' \operatorname{sen}\varphi' \cos\beta$

Sottraendo $\cos a' - \cos b' = \operatorname{sen}\delta' \operatorname{sen}\varphi' (\cos\alpha - \cos\beta)$;
ossia $\operatorname{sen} a - \operatorname{sen} b = \cos\delta \cos\varphi (\cos\alpha - \cos\beta)$;

Secondo le note formole della trigonometria

$$2 \cos \frac{1}{2}(a + b) \operatorname{sen} \frac{1}{2}(a - b) = \operatorname{sen} a - \operatorname{sen} b =$$

$$= \cos\delta \cos\varphi \; 2 \operatorname{sen} \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \operatorname{sen} \frac{1}{2}(\beta - \alpha).$$

Mettendo in evidenza il termine incognito $(\alpha + \beta)$, avremo

$$\operatorname{sen} \frac{1}{2}(\alpha + \beta) = \frac{\cos \frac{1}{2}(a + b) \cdot \operatorname{sen} \frac{1}{2}(a - b)}{\cos\delta \cos\varphi \cdot \operatorname{sen} \frac{1}{2}(\beta - \alpha)}.$$

Trovato $(\alpha + \beta)$, e conoscendo $(\beta - \alpha)$, si ricava il valore di β ed α.

286. — Uno dei metodi più moderni, per determinare le coordinate geografiche di una nave sull'oceano per mezzo di

(1) Rigorosamente parlando il circolo verticale S' V' (se la nave non è restata allo stesso punto di prima) non passa più per Z, ma per un nuovo punto zenitale vicino; anche φ' sarà variata, se la nave non rimane sullo stesso parallelo; quindi, supponendo questi dati costanti, quando non lo sono, si ottiene un risultato soltanto approssimativo.

Digitized by Google

due altezze stellari, misurate simultaneamente, si riduce graficamente a questo. (1)

Siano due globi concentrici: uno terrestre, girante per mezzo d'un orologio intorno al suo asse in 24 ore, il secondo di vetro trasparente, contiguo al primo, sia ornato delle stelle principali, ma resti sempre nella stessa posizione.

Osservando una di queste stelle nel punto zenitale del Cielo si potrà senz'altro indicare sul globo il punto Z (Fig. 168), dove l'osservatore si trova.

Essendo raro il caso, che una delle stelle segnate si trovi esattamente allo Zenit dell'osservatore, si misurano invece le altezze di due stelle diverse S ed S'; le loro distanze zenitali siano ZS e ZS'. Costruendo cogli archi SZ e S'Z intorno ad S ed S' due circoli, questi s'intersecheranno in due punti Z e Z', uno dei quali è il punto di bordo. Quale punto sia da scegliersi, sarà facile a decidersi.

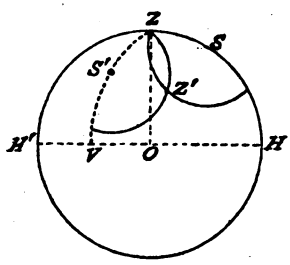


Fig. 168.

287. — Quando non si possono fare delle osservazioni astronomiche (essendo il cielo coperto), i navigatori devono servirsi di altri mezzi, per stimare con sufficiente approssimazione la rotta da farsi. Tra questi, oltre le carte marine, sono famosi la Bussola ed il Log (*la barchetta*).

Le carte marine sono disegnate colla **proiezione di Mercator** [una modificazione di sviluppo cilindrico (n. 75)] in maniera tale, che tutti i meridiani terrestri siano linee rette equidistanti e parallele, intersecati dai Paralleli rispettivi sotto un angolo retto. La distanza dei Paralleli (equidistanti in realtà) nella proiezione è tale, che gli angoli azimutali rimangono invariati. Basterà quindi tracciare sulla carta una linea retta tra due stazioni A e B (Fig. 169), per avere la cosidetta **linea lossodromica.** (2) Essa è differente dalla *linea ortodromica*, che

(1) Per le formole rimandiamo ai trattati speciali di Astronomia nautica, p. es. M. YVON VILLARCEAU e M. AVED DE MAGNAC, *Nouvelle navigation astronomique*, Paris 1877.

(2) Dal greco λοξός (obliquo) e δρόμος (corsa); la parola indica quindi una rotta deviata. Ὀρθός (dritto) indica invece la via dritta.

Digitized by Google

segnerebbe un circolo massimo del globo terrestre, passante per A e B, e conseguentemente la linea lossodromica non è la via più breve da A a B, ma offre tali vantaggi alla navigazione, che non mal volentieri si fa la piccola deviazione.

288. — L' angolo α sotto il quale la nave deve tagliare tutti i meridiani (chiamato dai navigatori il «rombo di vento») viene determinato dalla Bussola (debitamente corretta e controllata); la velocità della nave si conosce per mezzo del **Log.** (1)

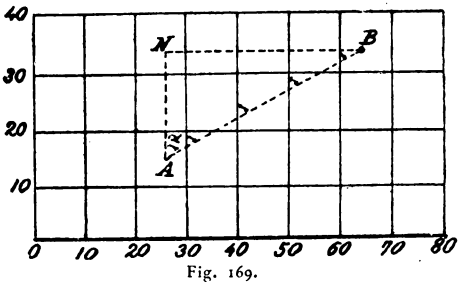


Fig. 169.

Questo strumento primitivo consiste in una piccola tavola di legno, che ha la forma di un settore circolare OAB (Fig. 170), con un raggio OA di 15 centimetri incirca. Sul lembo circolare AB è fissata una lamina di piombo, cosicchè gettata nell' acqua la tavola (poco immersa) galleggia in una posizione verticale. Oltre la corda principale OCD, ve ne sono altre due

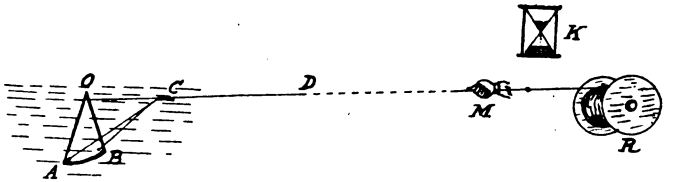


Fig. 170.

AC e BC, che collegate in C, ivi per mezzo di una piccola cavicchia sono fissate in un tubetto, attaccato alla corda principale, la quale cavicchia si scioglie, quando si dà una forte scossa alla corda principale. Quest'ultima ha la lunghezza di circa 500 metri; ad intervalli di metri 30,86 si trovano dei

(1) La derivazione del nome (che si scrive pure Loch, Loche, Logge, Lock, ecc.) non è ben chiara; probabilmente non si tratta di altro che della parola inglese log, che significa un pezzo qualunque di legno. In italiano si usa anche il nome di barchetta.

Digitized by Google

Nodi, che si sentono e si contano facilmente quando la corda si svolge tra le dita della mano.

L'osservazione si fa in questo modo: Un marinaio getta il Log (« la barchetta ») nel mare, ed osserva il suo arrivo nelle acque; quando la corda, tenuta in mano da un secondo marinaio, comincia a stendersi, questo, arrivato al primo nodo, dà il segno al primo, di capovolgere ed osservare la piccola clessidra K, per contare il minuto. Frattanto la nave, andando avanti, lascia dietro di sè il *Log*; la corda si svolge liberamente dal rocchetto R, tenuto da un terzo marinaio, passando però sempre per la mano del secondo, il quale conta i nodi. Finito il minuto, un grido (« Stop ») del primo dà il segnale al secondo, di fermare la corda. La scossa data per questa brusca fermata fa saltare la cavicchia C dal suo cilindretto, e lo strumento, ritenuto per la sola corda CO, ed ora galleggiando orizzontalmente, offre poca resistenza. Si fa il controllo dei nodi contati e si conosce senz'altro la velocità della nave. *Facciamo 10 nodi*, vuol dire che la nave percorre 10 miglia nautiche in un'ora. (1)

289. — Il metodo descritto primitivo si è mantenuto fino ai giorni nostri; anche in alcuni piroscafi moderni si può vederlo ancora applicato. In altri si sono sostituiti apparecchi più moderni, che registrano automaticamente (« i nodi fatti ») la velocità della nave. L'elice stessa propulsatrice dei vapori, col suo numero di giri e colla forza sperimentata di propulsione potrebbe dare un certo controllo sulla velocità del piroscafo.

Non è quindi difficile immaginare i vari principii simili, sui quali sono fondati questi apparati registratori. (2) A noi

(1) Un arco del Meridiano terrestre (alla latitudine media geografica di 45°) corrispondente ad un angolo di 1″ ha la lunghezza di 30,86 metri, quello di 1′ è lungo 1852 (più esattamente 1851,851 metri), e questa è la lunghezza di 1 miglio nautico.

Se dunque in 1^m si percorrono 10 nodi, ossia 10″ di circolo massimo, in 1^h si percorreranno 10′ ossia 10 miglia, che sono circa 18,5 chilometri.

Il Log in realtà non resta assolutamente fermo nello stesso punto, ma seguita un po' il moto della nave; la correzione da farsi per questo trovasi già fatta nella disposizione dei nodi, che invece di 30,86 metri hanno una distanza un po' più piccola, di 29,24 metri.

(2) Secondo Vitruvio (scrittore del 1 secolo av. Cr.) gli antichi navigatori già sapevano disporre al fianco della nave una ruota fornita

Digitized by Google

basta l'avere spiegato in termini generali il modo di conoscere lo spazio percorso in un certo tempo; conoscendo questo, e conoscendo la direzione, si trovano le coordinate geografiche, almeno con grande approssimazione, le quali possono servire se non di base, almeno di controllo per gli altri metodi sopra esposti.

CAPITOLO IV.

FIGURA E DIMENSIONI DELLA TERRA.

ART. I. — VARI METODI ADOPERATI PER LA MISURA DEL GLOBO TERRESTRE.

290. — La forma globulare della Terra fu conosciuta dagli antichi, appena che le nozioni astronomiche uscirono dallo stato d'infanzia. Aristotele (sec. IV a. Cr.) già metteva insieme vari argomenti che la provano.

Sapendo che le eclissi della Luna sono dovute all'interposizione della Terra tra Luna e Sole, egli additò meritamente la forma circolare dell'ombra terrestre proiettata sulla Luna (Figura 171) come argomento decisivo della forma globulare della stessa. La qual forma gli pareva di più una conseguenza necessaria della gravitazione di tutte le particelle verso il centro. (1)

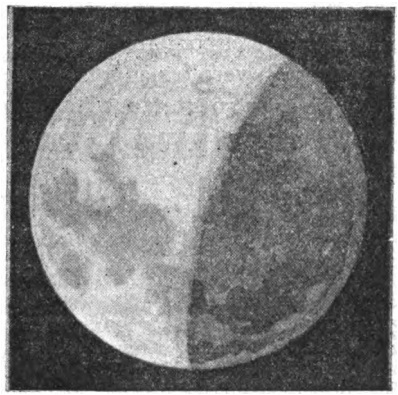


Fig. 171. Ecclisse di Luna.

di palette alla circonferenza (come quella dei mulini), la quale semi-immersa nell'acqua, spinta dalla resistenza dell'acqua, girava intorno all'asse proprio, e col numero dei giri indicava la velocità della nave.

(1) De Coelo, lib. II, cap. 7 in fine. Dimostra ivi con robusta argomentazione la figura globulare della Luna dalle varie fasi durante una lunazione.

Digitized by Google

Se passiamo, continua egli, sullo stesso meridiano da Nord verso Sud, l'orizzonte celeste cambia subito d'aspetto, donde si vede che *la curvatura* è anche abbastanza sensibile; in altre parole: il globo terrestre non ha dimensioni colossali. I mate-

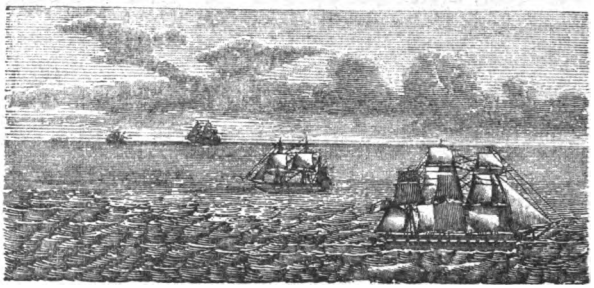


Fig. 172.

matici di quel tempo però, (1) come attesta lo stesso Aristotele, calcolarono la circonferenza essere di circa 400 000 stadi (valore che supera il vero quasi del doppio).

Oltre l'argomento di analogia degli altri corpi celesti, specialmente del nostro sistema planetario, il modo, come og-

Fig. 173.

getti terrestri lontani compariscono e scompariscono sotto l'orizzonte apparente (Fig. 172 e 173), serve di conferma, che la superficie terrestre (più o meno livellata) è quella di una sfera. (2)

(1) Orazio celebra Archyta (contemporaneo di Platone nel secolo v av. Cr.) con queste parole:

Te maris et Terrae, numeroque carentis arenae
Mensorem cohibent, Archyta...

(2) Questo argomento trovasi già citato nell'Almagesto di Tolomeo (l. 3, c. 4). Gli stessi selvaggi sanno utilizzare questa proprietà della sfericità della Terra, quando perseguitati da un vapore lontano, il fumo del quale vedono ascendere sopra l'orizzonte, sanno dirigere la propria barca in modo tale, che rimangono nascosti dietro la calotta terrestre, la quale si eleva tra gli uni e gli altri.

Digitized by Google

Oggidì, dopo i viaggi fatti in tutte le direzioni intorno al globo terrestre, non solamente la quasi perfetta sfericità del medesimo è fuori d'ogni dubbio, ma anche l'esistenza (una volta contrastata da vari autori) di veri Antipodi.(1)

Le irregolarità della superficie, cagionate dai continenti e specialmente dalle montagne, sono insignificanti, come dimostrò già *Teone di Alessandria* (secolo IV d. Cr.). In fatti la Terra (come proveremo) ha un raggio di 6370 chilometri. Le montagne più alte rimangono al disotto di 9 chilometri. Questo per una sfera con un raggio di 710 cm. produrrebbe un dislivello di appena 1 cm.

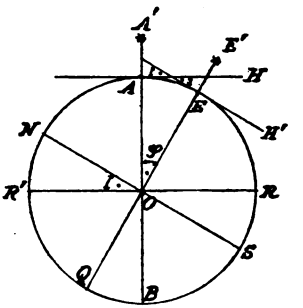


Fig. 174.

291. — La misura delle dimensioni della Terra, nella supposizione che essa sia un globo perfetto, è facile. Il circolo della figura 174 rappresenti una sezione meridiana della Terra, N S sia l'asse terrestre, E Q sezione dell' Equatore, A ed E siano due punti della superficie, dei quali l'angolo $AOE = \varphi$ misura la differenza di latitudine geografica.

Supponiamo, p. es., che φ sia uguale a 30°; allora l'arco meridiano A E starà a tutta la circonferenza $2r\pi$ come 30:360, ossia come 1 : 12. Basterà quindi misurare la lunghezza lineare dell'arco A E, e moltiplicarlo 12 volte, per avere la circonferenza $2r\pi$, la quale, divisa per 2π, ci dà il raggio $AO = r$. Anzi basterà di misurare l'arco di un grado solo, moltiplicarlo per 360, per avere gli stessi risultati.

292. — I principali **progressi fatti** nella cognizione della vera figura e delle vere dimensioni della Terra, si riducono al perfezionamento di queste due cose:

1° La determinazione delle latitudini dei vari luoghi (A, E) col perfezionarsi degli strumenti riuscì sempre più esatta. Mentre anticamente semplici gnomoni servivano a que-

(1) Se alcuni scrittori ecclesiastici antichi condannano questa dottrina come un errore di fede, con ciò combattono piuttosto l'ipotesi, che quegli antipodi, allora puramente supposti, siano uomini non discendenti dai nostri protoparenti.

Digitized by Google

sto scopo, più tardi a quegli strumenti antichi, descritti disopra (n. 136 sgg.), furono sostituiti gli strumenti moderni (n. 158 sgg.) di somma precisione.

2° La misura dei gradi meridiani, o meglio la misura dell'estensione lineare dell'arco meridiano tra i due termini, prima fatta con rozza stima di viaggiatori e navigatori [Eratostene e Posidonio], poi si fece più accuratamente con righe e pertiche [Arabi]; ovvero contando i giri della ruota di una carrozza, corrente da un termine all'altro [Fernel]; finalmente si adottò universalmente il metodo [di Snell], preferibile a tutti gli altri, cioè quello di una triangolazione geodetica.

293. — **Eratostene** (276 al 195 a. Cr.), bibliotecario della celebre Accademia di Alessandria in Egitto, è il primo, del quale possediamo una determinazione fondata sopra i principii anzidetti. Egli sentendo che in Syene (città d'Egitto, oggi chiamata *Assuan*) il Sole al tempo del solstizio d'estate a mezzogiorno si specchiava nei pozzi profondi, cioè stava allo Zenit del luogo, mentre in Alessandria (secondo le indicazioni gnomoniche) avea una distanza zenitale di $7°12'$, ne concluse giustamente, la differenza di latitudine tra l'una e l'altra città essere appunto di $7°12'$. Di più, siccome viaggiando da Alessandria verso Syene, si procedeva sempre verso Sud, le due città doveano trovarsi quasi sullo stesso meridiano. (1) I viaggiatori poi stimavano la distanza delle due città essere di circa 5000 stadi.

Ora $360 : 7{,}2 = 50$; $50 \cdot 5000 = 250\,000$; dunque, concluse Eratostene, *la Terra ha una circonferenza di circa 250 000 stadi.* (2) Questo valore confrontato con quello dei matematici precedenti (400 000; n. 290) segnalò un grande progresso. Anzi il risultato di Eratostene si sarebbe accostato ancora più al vero, se le sue supposizioni fossero state del tutto vere. (3)

294. — **Posidonio** (filosofo greco, maestro di Cicerone ed

(1) In realtà c'è una differenza di longitudine di circa 3 gradi (2° 59').

(2) Più tardi il numero fu aumentato (non si sa bene se da Eratostene o dai suoi discepoli) a 252 000.

(3) Un controllo perfetto dell'esattezza della determinazione di Eratostene non si può fare, perchè non si conoscono esattamente i dati a ciò necessari. Il risultato ottenuto era senza dubbio una prima approssimazione rimarchevole al vero.

Digitized by Google

amico di Pompeio, morto in Rodi circa l'anno 80 a. Cr.) fece un calcolo simile a quello di Eratostene, per determinare la grandezza del globo terrestre. Osservando che la stella brillantissima Canopus (α navis Argo) nella sua culminazione rasentava l'orizzonte marino dell'isola di Rodi, mentre in Alessandria allo stesso tempo culminava all'altezza di $7°30'$, ne concluse che questa dovea essere la differenza di latitudine di questi due luoghi. Atteso poi che $360 : 7{,}5 = 48$, e sapendo, che i marinai stimavano la distanza di Rodi da Alessandria essere di 5000 stadi, ne dedusse per la circonferenza del globo terrestre $48 \cdot 5000 = 240\,000$ stadi.

Sentendo più tardi, che quella distanza tra Rodi ed Alessandria da altri (e dallo stesso Eratostene) era stimata di 3750 stadi soltanto, corresse il risultato predetto nel seguente

di $$48 \cdot 3750 = 180\,000 \text{ stadi},$$ [1]

il qual numero fu adottato da Tolomeo, il celebre autore dell'*Almagesto* (n. 16).

295. — Astronomi arabi, non contenti di una stima approssimativa dei gradi meridiani (dietro ordini del califfo Al-Mamun) misurarono nell'827 d. Cr. con catene e pertiche la lunghezza di un grado del meridiano, prima nella Mesopotamia (Tadmor), poi nella grande pianura Sinjar (che estendesi da Bagdad verso il Mar Rosso). Partendo da uno stesso punto, due commissioni si divisero, una verso Nord, l'altra

(1) I dati astronomici, adottati dal Posidonio, a cagione della rifrazione astronomica (poco conosciuta a quel tempo) meritavano minore fiducia di quelli adoperati da Eratostene. Quel radere l'orizzonte di una stella (anche di prima grandezza) è una cosa che non può osservarsi con precisione, a cagione dei vapori presso l'orizzonte. Così forse si spiega che quella differenza di latitudine tra Rodi ed Alessandria eccede il vero valore di $2°\ 15'$, senza che sia necessario (come vorrebbero alcuni autori) di supporre, che Posidonio abbia semplicemente finto quelle osservazioni.

Il valore medio tra quello di Eratostene (252 000) e di Posidonio (180 000), cioè 216 000 stadi, si avvicina assai al vero. Trasformando il numero degli stadi in chilometri, risultano $0{,}184\ 97 \cdot 216\ 000 = 39\,953{,}5$ chilometri; il quale numero differisce dal vero (40 000) di 46,5 chilometri soltanto.

Digitized by Google

verso Sud, proseguendo le misure, finchè la latitudine del termine differiva di un mezzo grado da quella del punto di partenza, controllando così allo stesso tempo l'esattezza delle due misure. Risultarono da queste misure 56 $\frac{2}{3}$ miglia arabiche per un grado; cioè circa 117 600 metri. (1)

296. — Il **medico francese Fernel** (2) inventò ed eseguì nel 1525 un metodo nuovo e facile di misurare un grado meridiano, contando semplicemente i giri fatti dalla ruota della sua carrozza, viaggiando da Parigi ad Amiens, le quali città trovansi sullo stesso meridiano, ed inoltre sono congiunte da una strada abbastanza dritta. Fernel determinò per mezzo del Triquetro (n. 136) i termini del grado, misurò poi con grande esattezza la circonferenza della ruota, e moltiplicandola pel numero dei (17 024) giri, trovò la lunghezza di un grado essere uguale a 56 746 $\frac{2}{3}$ tese antiche, ossia a 57 070 tese moderne, (3) cioè 111 229 metri, risultato assai vicino al vero!

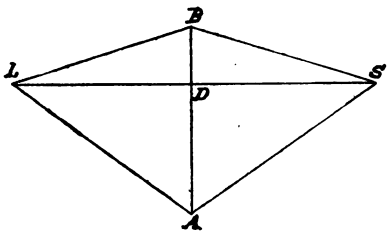


Fig. 175.

297. — Un metodo del tutto nuovo per la soluzione del problema, cioè quello della **Triangolazione geodetica**, fu inventato dal matematico olandese **Wilibrord Snell** (lat. Snellius). (4) Invece di misurare direttamente l'estensione lineare di tutto un grado meridiano, egli si contentò della misura diretta di una linea più breve chiamata Base.

Scelse cioè, come vedesi nella figura 175, due torri, una di Leida L, l'altra di Soetervoud S, tra le quali si estende una grande pianura, attraverso la linea retta LS tracciò una se-

(1) Questo risultato noterebbe un eccesso di circa sette chilometri sul vero valore. È però da notarsi che sulla vera lunghezza del miglio arabico in uso a quei tempi, esistono più o meno congetture soltanto. Fu forse appunto questa incertezza, che rese tosto desiderabile, se non necessaria, una nuova misura.

(2) «Cosmotheoria, seu *de forma mundi et de corporibus coelestibus*, libros duos complexa». Parisiis, 1558.

(3) Una tesa (toise) = 6 piedi parigini = 1,949 metri. Nel calcolo fu tenuto conto delle poche salite e curve della strada.

(4) SNELLIUS, Eratosthenes batavus. Lugduni Batavorum, 1617

Digitized by Google

conda perpendicolare AB, tra due stazioni più comode A e B, che dovea servire di base per le altre operazioni. AB fu misurata diligentemente per mezzo di pertiche nel modo ordinario. Collocando poi il quadrante in A, Snellio determinò gli angoli LAB ed SAB; similmente, prendendo stazione in B, gli angoli LBA ed SBA. Con ciò erano determinati tutti gli elementi necessari pel calcolo dei triangoli rettangolari ADL, BDL, ADS, BDS, donde risultò pei due lati LD + DS la lunghezza di 1029 pertiche, 3 piedi e 3 pollici (olandesi).

Con simile triangolazione egli determinò la distanza tra altri punti cospicui della Neerlandia, cavando dall'insieme finalmente

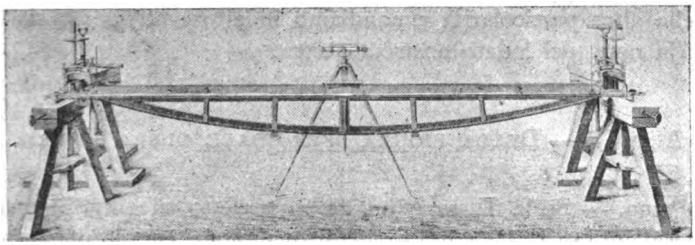


Fig. 176. Strumenti geodetici.

la lunghezza di 55 100 tese per un grado; risultato che, dopo correzione di alcuni errori di calcolo, fu alzato a tese 57 033, pochissimo differente da quello già trovato da Fernel.

298. — Il metodo di Snell è stato comprovato da misure posteriori il migliore e più esatto di tutti gli altri; la sua esattezza però dipende naturalmente da quella delle misure parziali: cioè della Base e degli angoli rispettivi, nonchè dalla determinazione rigorosa della linea meridiana e della latitudine geografica dei suoi termini.

Oggidì il sistema della triangolazione geodetica è diventato il mezzo universale, per costruire una carta geografica di un paese, che a tale scopo si copre tutto di una rete di triangoli, simili a quelli scelti dallo Snellio. Per segnali (che costituiscono poi i vertici dei triangoli) si scelgono i punti più vantaggiosi, cioè non soltanto ben determinati e facilmente os-

Digitized by Google

servabili, [1] ma anche disposti in maniera tale, che i singoli triangoli riescano, quanto si può, prossimamente equilateri, affinchè i piccoli errori commessi nella misura degli angoli si compensino. La misura della Base si fa con grande precisione, correggendo tutti gli errori, che potrebbero introdursi; controllando scrupolosamente l'estensione o contrazione delle pertiche a cagione del variare della temperatura o dell'umidità, la loro flessione o posizione non perfettamente orizzontale, gli intervalli rimanenti tra i due capi ecc. Tutte le misure finalmente si riducono al livello del mare, la vera superficie del globo terrestre che vuol determinarsi. La figura 176 dà un'idea dell'insieme degli apparati adoperati dal P. Secchi nella misura della base della via Appia, tra Roma ed Albano. [2] Per la descrizione delle altre particolarità rimandiamo il lettore all'opera, citata nella nota, del lodato nostro maestro.

Art. II. — Della figura sferoidale della Terra.

299. — Se la Terra è un globo perfetto, ai singoli gradi meridiani [anzi ai singoli gradi di qualunque circolo massimo] devono corrispondere archi di uguale lunghezza. Se dunque questi archi, misurati con tutte le cautele necessarie, si mostrano disuguali, la sfericità perfetta della Terra diventa dubbia. Se poi vi è un incremento costante nell'estensione degli archi meridiani dall'Equatore verso i poli, come è stato trovato in realtà, si dovrà concludere la Terra non essere un globo perfetto, ma **un globo depresso ai poli.** Una sezione meridiana della Terra non sarà più un circolo, ma una curva ellissoidale,

(1) In mancanza di torri o campanili si costruiscono (con forte legname) dei segnali artificiali, di forma piramidale, con punta ben visibile, anche da grande distanza.

(2) A destra ed a sinistra della figura si vedono due banchetti ben robusti che portano la tesa su cui poggiano le verghe metalliche. Due altri banchetti (isolati dai primi) portano i microscopi, strumenti di passaggi, ecc. La tesa è munita contro qualunque inflessione da un arco di rinforzo. Sopra di esso si vede in mezzo un livello. Le altre particolarità trovansi descritte nell'opera: Misura della Base trigonometrica eseguita sulla via Appia, per ordine del Governo pontificio nel 1854-1855 dal P. A. Secchi d. C. d. G., Roma, 1858.

Digitized by Google

l'asse minore della quale corrisponde all'asse di rotazione, l'asse maggiore al diametro dell'equatore.

Da principio alcuni credettero di dover concludere inversamente, che l'asse minore sia il diametro equatoriale. Infatti, consideriamo (Fig. 177) i diametri NS ed EQ di due circoli concentrici, siano uguali i due angoli centrali $\measuredangle NOA = \measuredangle EOB$, l'arco NA (= E'B'), avendo un raggio minore dell'arco EB, sarebbe evidentemente minore di EB. Sembra quindi un grado di maggiore lunghezza lineare (EB > NA) necessariamente più distante dal centro; conseguentemente se i gradi polari della Terra sono più lunghi, la Terra a prima vista sembrerebbe piuttosto elevata ai poli. (1)

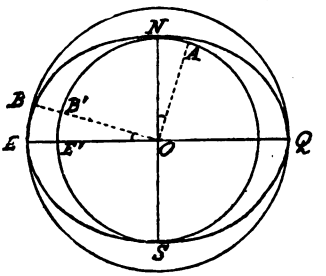


Fig. 177.

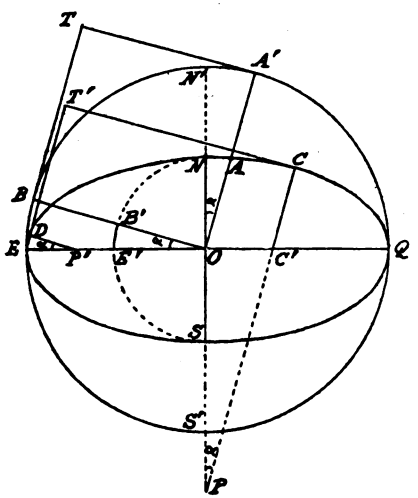


Fig. 178.

300. — Questa difficoltà svanisce però, se consideriamo il modo pratico, come si determinano quei due angoli uguali NOA = EOB; cioè che le linee verticali in N ed A, in E e B, se la Terra non è più una sfera perfetta, non s'incontreranno più nel centro O, ma in punti diversi.

Il filo a piombo forma un angolo retto colla superficie delle acque tranquille e quindi colla superficie di una terra livellata. Se la sezione meridiana della Terra è quella di un'ellisse, i

(1) Si sapeva pure trovare qualche ragione apparente a conferma di codesta opinione: come l'accumularsi delle nevi e ghiacci ai poli, il rallentamento del flusso delle acque nelle regioni polari, ecc.

Digitized by Google

perpendicoli rispettivi formano colla rispettiva tangente un angolo retto. Supponiamo, per esempio (con proporzioni anche esagerate di molto, per rendere la cosa più sensibile) che (Fig. 178) NS rappresenti l'asse polare, EQ il diametro equatoriale dell'ellissoide terrestre ENQS.

Tenendo come prima $\measuredangle NOA = \measuredangle EOB = \alpha$; saranno evidentemente uguali gli archi $NA = E'B'$ sul circolo minore di raggio ON ed $N'A' = EB$ sul circolo maggiore di raggio EO. Costruendo le due tangenti A'T e BT al circolo maggiore, poi due tangenti all'ellisse cioè $CT' \parallel A'T$, $DT' \parallel BT$, sulle quali nei punti C e D alziamo le perpendicolari CP e DP'; allora gli angoli $NPC = EP'D = \alpha$ saranno uguali; i punti E e D (vicino all'Equatore) ed i punti N e C avranno la stessa differenza di latitudine geografica; ma l'arco corrispondente ellissoidale ED presso l'Equatore è evidentemente minore dell'arco ellissoidale NC presso il polo.

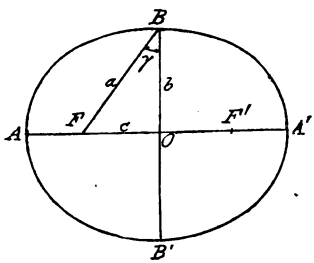


Fig. 179.

301. — Ciò posto, il **problema** si riduce a questo: Date le lunghezze $NC = l$ ed $ED = l'$ di due gradi meridiani, uno misurato alla latitudine geografica φ, l'altro a φ', trovare l'eccentricità ε della curva ellissoidale.

L'eccentricità lineare di un'ellisse viene indicata dalla distanza c (Fig. 179) $= FO$ dei fochi F ed F' dal centro O; numericamente si suole esprimere l'eccentricità e per il seno dell'angolo γ, che fa $FB = a$ (semiasse maggiore) con $BO = b$ (semiasse minore), cioè

$$e = \operatorname{sen} \gamma = \frac{c}{a} ;$$

trovato e, si conosce $\cos \gamma = \frac{b}{a}$; ossia il rapporto dei due assi, donde risulta la depressione cercata.

Il problema (che qui possiamo indicare soltanto) si scioglie mediante i raggi di curvatura ρ e ρ' corrispondenti alle latitudini φ e φ', facendo uso della formola generale

Digitized by Google

$$\rho = \frac{a(1 - e^2)}{(\sqrt{1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi})^3}$$

poichè $l : l' = \rho : \rho'$; quindi

$$\frac{l}{l'} = \frac{(\sqrt{1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi'})^3}{(\sqrt{1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi})^3} \quad \text{ossia} \quad \frac{\sqrt[3]{l}}{\sqrt[3]{l'}} = \frac{\sqrt{1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi'}}{\sqrt{1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi}}$$

$$\frac{l^{2/3}}{l'^{2/3}} = \frac{1 - e^2 \operatorname{sen} \varphi'}{1 - e^2 \operatorname{sen} \varphi} ;$$

$$l^{2/3} - l^{2/3} e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi = l'^{2/3} - l'^{2/3} e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi' ;$$

cerchiamo e, quindi

$$l^2 \cdot (l'^{2/3} \operatorname{sen}^2 \varphi' - l^{2/3} \operatorname{sen}^2 \varphi) = l'^{2/3} - l^{2/3} ;$$

dunque

$$e^2 = \frac{l'^{2/3} - l^{2/3}}{l'^{2/3} \operatorname{sen}^2 \varphi' - l^{2/3} \operatorname{sen}^2 \varphi} = \frac{1 - \left(\frac{l^{2/3}}{l'^{2/3}}\right)}{\operatorname{sen}^2 \varphi' - \left(\frac{l^{2/3}}{l'^{2/3}}\right) \operatorname{sen}^2 \varphi} \quad (1)$$

La depressione $d = \frac{a - b}{a}$; essendo $b = a\sqrt{1 - e^2}$ si ricava dalla formola

$$d = 1 - \sqrt{1 - e^2} \quad (2)$$

302. — Premessa così la soluzione teorica, vediamo ora come l'idea d'una **Terra depressa ai poli** si fece strada, non però senza grandi difficoltà, nella mente dei dotti.

I primi dubbi seri sull'eguaglianza dei gradi di un meridiano nacquero, quando nuove triangolazioni fatte in paesi diversi mostrarono delle divergenze, le quali non potevano più ascriversi ad errori accidentali. Tra queste misure meritano spe-

Digitized by Google

ciale menzione quelle eseguite dall'inglese Riccardo *Norwood* nel 1633 in Inghilterra (tra Londra e York),[1] quella fatta dai padri gesuiti Giovanni Battista *Riccioli* e Francesco Maria *Grimaldi* nel 1645 in Italia (tra Bologna, Modena e Ferrara),[2] e dall'abate francese *Jean Picard*, fondatore dell'Osservatorio di Parigi, nel 1669–70 in Francia (tra Parigi ed Amiens, o più esattamente tra Malvoisine e Sourdon).

Vedendo che per mezzo di misure tali, eseguite in latitudini diverse, si potevano acquistare idee più esatte sulla vera figura e le vere dimensioni della Terra (il raggio della quale serve come metro-campione in tante altre misure astronomiche), l'Accademia di Parigi propose di continuare la misura, già fatta dal Picard, verso Nord fino a Dunkerque e verso Sud fino a Collioure, per un'estensione di 8 $\frac{1}{3}$°, la quale fu poi eseguita dai due Cassini, Maraldi, Couplet, Chazelle e De la Hire. Contro l'aspettazione, specialmente degli astronomi inglesi, i quali con Newton si erano dichiarati per una Terra depressa ai poli, i gradi verso Sud furono trovati più lunghi di quelli verso Nord.

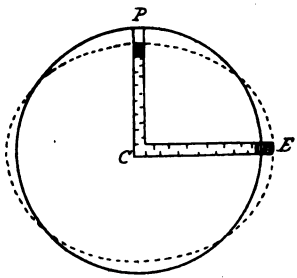


Fig. 180.

303. — Il celebre **Newton** († 1727), scopritore della gravitazione universale, vedeva giustamente nella depressione della Terra ai poli una conseguenza necessaria della rotazione.[3] La Terra rotante, argomentava egli, secondato dall'**Ugenio**,[4] produce una forza centrifuga, la quale essendo ai poli uguale a zero, cresce verso l'Equatore, dove avrà il suo massimo. Immaginiamo, diceva Newton, due tubi comunicanti (Fig. 180)

(1) Pubblicato nell'opera del NORWOOD, The seaman's practice. London, 1636.

(2) Vedi RICCIOLI, Almagestum novum. Bononiae, 1651, I, 59, e II, 591.

(3) Vedi NEWTONII, Philosophiae naturalis principia mathematica. Lib. III, prop. XIX.

(4) CRISTIANI HUGENII, Dissertatio de causa gravitatis. 1690.

Digitized by Google

pieni d'acqua, uno dal Polo P verso il centro C, l'altro lungo un raggio equatoriale CE; in conseguenza della forza centrifuga la gravitazione effettiva sarà maggiore in P, minore in E (supponendo raggi uguali CP = CE); questa diversità di attrazione verso il centro produce necessariamente un dislivello; perchè si ristabilisca l'equilibrio, il livello in P si abbasserà, quello in E si alzerà.

Da queste considerazioni teoriche, alle quali ritorneremo altrove, Newton concluse che la gravitazione ai poli dovea essere $\frac{1}{289}$ maggiore di quella dell'Equatore.

La quale differenza dovrebbe (in un liquido del tutto omogeneo) produrre un dislivello di $\frac{1}{230}$; cioè chiamando a il semiasse maggiore, b quello minore dell'ellissoide così generato, avremo $a : b = 230 : 229$; quindi per la depressione

$$d = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{230}$$

304. — Se erano veri questi ragionamenti, quella diminuzione della gravità dovea mostrarsi pure nell'andamento di un pendolo. Difatti lo sperimentò l'astronomo francese **Jean Richer** in Caienna, dove si era recato nel 1671 per ordine dell'Accademia di Parigi, a studiare la parallasse del pianeta Marte.

Il pendolo astronomico, che avea portato seco da Parigi, subiva ogni giorno un ritardo di più di 2 minuti (148 secondi), tantochè per farlo battere di nuovo esattamente i secondi, Richer dovette accorciarlo (di $\frac{5}{4}'''$ parigine). Ritornando poscia a Parigi, il pendolo così accorciato oscillava troppo presto, l'orologio guadagnava ivi ogni giorno altrettanto, quanto era rimasto indietro in Caienna, prima dell'accorciamento.

Era dunque evidente, come mostrò Ugenio (loco cit.), che questo effetto era dovuto alla differenza della forza di gravità decrescente da Parigi verso l'Equatore.[1] Di più le osserva-

(1) Alcuni volevano ascrivere il rallentamento delle oscillazioni del pendolo alla differenza di temperatura; ma ci vorrebbe un aumento di circa 200° per rendere ragione del rallentamento sperimentato.

Digitized by Google

zioni del pianeta *Giove*, assai depresso ai poli, furono citate come conferma del sovradetto.

305. — L'**Accademia di Parigi**, vedendo che i gradi misurati in Francia erano troppo vicini gli uni agli altri, per decidere l'agitata questione, risolvette finalmente di venire ad una soluzione decisiva mediante misure dirette, da prendersi nelle regioni equatoriali da una parte, e nelle regioni ultime accessibili verso Nord dall'altra.

Per la intercessione del cardinale Fleury si ottenne da Luigi XV l'ordine, che due commissioni scientifiche fossero spedite, una al *Perù*, l'altra nella *Lapponia*, due luoghi differenti in latitudine di circa 70 gradi. La spedizione al Perù eseguì i suoi lavori dal 1735 al 1741, quella della Lapponia dal 1736 al 1737. La prima trovò (in accordo colla teoria di Newton ed Ugenio) pel grado equatoriale 56 734 tese, la seconda alla latitudine 66° 20′ un grado di 57 438 tese.

Così la controversia, che aveva cagionato tanta animazione nei due campi degli scienziati, era finalmente decisa.

Il risultato era stato bene previsto dall'**Huygens**, il quale nella sua dissertazione (*De causa gravitatis*) scrive così: *La Terra non è perfettamente sferica, ha invece la figura di un globo depresso nelle regioni polari, come sarebbe quella di una ellisse rotante intorno al suo asse minore. Questa è una conseguenza del motò diurno. La superficie delle acque deve prendere la posizione normale al filo a piombo (il quale però non passa più dappertutto per il centro della Terra). Probabilmente la Terra ha preso questa figura ellissoidale, quando le sue parti, dotate già della rotazione diurna, si sono riunite per la forza della gravità.*

306. — Molte altre misure, fatte man mano nei vari paesi, hanno sempre più confermato i risultati già ottenuti.[1] Al principio del secolo XIX l'astronomo **Bessel** fece una discussione scientifica di tutti questi lavori, dalla quale risultarono le seguenti dimensioni dell'ellissoide terrestre:

(1) Lo spazio neppure ci permette di enumerarli semplicemente. Non è senza interesse di notare la parte attiva che presero tanti padri della Compagnia di Gesù in questi lavori; come i già menzionati PP. Riccioli e Grimaldi nell'alta Italia (1645), Boscovich e Le Maire in Roma (1750), Thomas nella Cina († 1709), Liesganig e Triesnecker nell'Austria (1770) e finalmente il P. Secchi di nuovo in Roma (1858).

Digitized by Google

Diametro, equatoriale ossia asse maggiore Km. 12 754,79432
Diametro polare, ossia asse minore . . » 12 712,15792
Differenza . . . Km. 42,63640

Depressione[1] 1 : 299,1528.

La tavola seguente, estratta dai lavori di Bessel, fa vedere come le dimensioni dei singoli gradi meridiani dell'**Ellissoide normale** gradualmente crescono dall'Equatore verso i poli.

Fig. 181. Carta di triangolazioni.

Bessel dimostrò allo stesso tempo che la figura della Terra, anche fatta astrazione dal dislivello, cagionato dalle montagne, *non è un ellissoide perfetto*, ma vi sono delle irregolarità, da controllarsi soltanto con nuove e moltiplicate misure in tutti i paesi del mondo. Infatti, oggidì le misure già fatte da grandi commissioni geodetiche internazionali, coprono con una

(1) J. C. Houzeau (Vade-Mecum de l'Astronomie. Bruxelles, 1882, p. 496-500), dà una lista completa dei valori, stabiliti da vari autori, della depressione i quali (escluso quello di Ugenio 1 : 578) variano tra 1 : 178 (Maupertuis) e 1 : 336 (Laplace).

Digitized by Google

rete fitta di triangolazioni quasi tutta l'Europa e grande parte dell'Africa e dell'Asia (come vedesi nella figura 181). Le irregolarità del **Geoide** [1] non sono grandi, ed arrivano qua e là a qualche centinaio di metri; si potrà quindi, senza errore sensibile, supporre l'ellissoide già descritto, con un semiasse maggiore di 6378 chilometri, un semiasse minore di 6357 chilometri, i quali differiscono di 21 chilometri soltanto.

Del resto la minuta descrizione delle particolarità geodetiche, che entrano nel problema, appartengono piuttosto alla cosidetta Fisica terrestre, ovvero alla Geodesia, che all'Astrometria.

Lunghezza (in chilom.) degli archi meridiani e paralleli nelle varie latitudini.

Latitudine	Meridiano		Paralleli	
	arco di 1°	arco di 1′	arco di 1°	arco di 1′
0°	110,563	1,8427	111,324	1,8554
5	110,571	1,8429	110,903	1,8484
10	110,597	1,8433	109,644	1,8274
15	110,639	1,8440	107,555	1,7926
20	110,696	1,8449	104,652	1,7442
25	110,766	1,8461	100,955	1,6836
30	110,847	1,8475	96,492	1,6082
35	110,937	1,8490	91,294	1,5226
40	111,033	1,8506	85,400	1,4233
45	111,132	1,8522	78,853	1,3142
50	111,232	1,8539	71,702	1,1950
55	111,328	1,8555	64,000	1,0667
60	111,419	1,8570	55,805	0,9301
65	111,501	1,8584	47,180	0,7863
70	111,572	1,8595	38,190	0,6365
75	111,629	1,8605	28,905	0,4817
80	111,672	1,8612	19,396	0,3233
85	111,698	1,8616	9,736	0,1623
90	111,707	1,8618	0,000	0,0000

(1) Nome dato alla figura reale della Terra (γῆ).

Digitized by Google

Corollario I. — Il Metro, la diecimilionesima parte del quadrante di un meridiano.

307. — La confusione, cagionata dalla grande diversità delle unità di misure lineari, adoperate dalle varie nazioni, ed inoltre variate nei vari tempi, eccitò non soltanto presso i dotti, ma anche nei governi il desiderio, di avere qualche unità determinata dalla natura stessa, non in una maniera vaga, come l'antico piede, pollice, passo, palmo, ecc., ma in un modo preciso e ben controllabile, come il giorno, unità della misura del tempo.

Ugenio fin dal 1664 aveva proposto, di scegliere a questo scopo la *lunghezza del pendolo, che batte i secondi*, di dividere questa unità in tre parti uguali, e di chiamare una di queste parti « PIEDE-ORARIO » (*pes horarius*). [1] Constatata poi la diversità di questa lunghezza nelle varie latitudini, non sembrava difficile, di scegliere una latitudine qualunque, per esempio, quella dell'Equatore o della latitudine media di 45°.

L'idea piacque a molti; perfino la spedizione geodetica dell'Accademia di Parigi al Perù, finiti i lavori nel 1742, lasciò in un'aula del collegio dei Padri Gesuiti di Quito una lapide marmorea, sulla quale colla lunghezza del pendolo erano incise queste parole: *Penduli simplicis aequinoctialis unius minuti secundi archetypus, mensurae naturalis exemplar, utinam et universalis*. La stessa Accademia nel 1790 istituì una commissione allo scopo di trovare un' unità inalterabile di misura; questa prescelse la *diecimilionesima parte del quadrante di un meridiano*. [2]

308. — Ora che abbiamo il Metro introdotto in moltissimi paesi come unità ufficiale di misura, si domanda, se in esso si trovino verificate le condizioni richieste. La risposta non può essere che *negativa*.

(1) « Horologium oscillatorium », 1673.

(2) Pare si debba all'autorità di Laplace (uno dei membri della commissione) il quale desiderava una nuova determinazione del detto grado, che l'unità più raccomandevole della lunghezza del pendolo fosse abbandonata in Francia, mentre in Inghilterra è stata adottata. Il yard inglese (= 0,914 metri) corrisponde alla lunghezza del pendolo che batte i secondi in Londra.

Digitized by Google

Anche il metro è una misura arbitraria, non facilmente controllabile, e se uno volesse dare una definizione esatta del medesimo dovrebbe presso a poco, col noto astronomo francese *H. Faye*,(1) dire così: *Il metro è la lunghezza da un capo all'altro di un regolo di platino, stabilito come unità di misura in virtù di una legge, e depositato negli archivi nazionali di Parigi.* Si può però aggiungere, che con grande approssimazione egli rappresenta la *diecimilionesima parte del quadrante d'un meridiano*, e che tale quale è, senza errore sensibile, può essere adoperato in tutti i problemi di Geografia e Nautica.

Infatti il detto quadrante, dietro le misure accennate, abbraccia 10 000 856 metri, cosicchè bisognerebbe aggiungere al metro attuale un po' più di 0,08 millimetri, per avere la misura cercata. Questo difetto è stato fin adesso uno dei pretesi ostacoli contro l'accettazione generale di questa misura; bisogna però riflettere, che quello che ha fatto accettare il metro dalle varie nazioni, non è la sua estensione, presa dalla natura, ma piuttosto il *sistema decimale* delle varie divisioni e sottodivisioni, che facilita tanto il calcolo.(2)

COROLLARIO II. — DISTINZIONE TRA LATITUDINE GEOGRAFICA E LATITUDINE GEOCENTRICA.

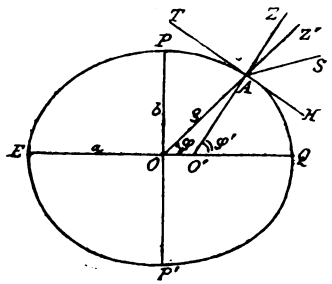


Fig. 182.

309. — La *latitudine geografica* viene determinata per mezzo del filo a piombo (ossia della livella). Se la Terra fosse perfettamente sferica, la direzione di questo filo passerebbe sempre e dappertutto per il centro della medesima. Ora invece, sapendo che la Terra ha una figura ellissoidale, dovremo distinguere due punti zenitali di un

(1) Cours d'Astronomie. Paris, 1883, vol. I, p. 312. Per rendere la definizione più completa, si potrebbero ancora aggiungere le condizioni della lega metallica, della temperatura, ecc.

(2) Sistema del resto già proposto nel 1670 da Gabriele Mouton [Observationes diametrorum solis et lunae apparentium, ecc. Lugd. 1670] il quale propone la divisione di un minuto dell'arco meridiano (Milliaria) con divisione decimale in Centuria, Decuria, Virga, Virgula, Decima, Centesima, Millesima.

Digitized by Google

luogo A (Fig. 182), uno Z, lo Zenit apparente, indicato dal piombino ZO', l'altro Z', lo Zenit vero, che si trova sulla linea centrale AO. Quello che noi abbiamo finora semplicemente chiamato **latitudine geografica**, è l'angolo $AO'Q = \varphi'$, cioè l' *altezza polare apparente*,[1] l' angolo $AOQ = \varphi$ viene chiamato **latitudine geocentrica**, ossia *altezza polare vera*. Chiamando ρ il raggio terrestre locale AO, α l'angolo OAO', avremo $\alpha = \varphi' - \varphi$, ossia

$$\varphi = \varphi' - \alpha \qquad (1)$$

La geometria analitica dimostra la relazione che esiste tra φ e φ' rispetto al semiasse maggiore ($OE = a$) ed il semiasse minore ($OP = b$); cioè

$$\operatorname{tang} \varphi = \frac{b^2}{a^2} \operatorname{tang} \varphi' \qquad (2)$$

Ai poli (P, P') i due Zenit coincidono; lo stesso vale per i luoghi equatoriali, dove $\varphi = \varphi'$. La differenza diventa massima ($\varphi' - \varphi = 11' 30'',7$) alla latitudine di 45° (Torino).

Il rispettivo **raggio terrestre** ρ si ricava dalla formola

$$\rho^2 = \frac{a^2 \cos \varphi'}{\cos \varphi \cos (\varphi' - \varphi)} ; \qquad (3)$$

egli ha il suo massimo ($\rho = a$) all'Equatore, il suo minimo ($\rho = b$) ai poli.

310. — La tavola seguente serve per illustrazione delle cose esposte: per Roma (Collegio Romano) $\varphi' - \varphi = 11' 26'',3$; (supponendo il raggio equatoriale $a = 1$) $\rho = 0{,}987086$; $\log \rho = 9{,}999355$; $\log \operatorname{tang} \varphi' = 9{,}9688$.

φ	log ρ	$\varphi' - \varphi$	φ	log ρ	$\varphi' - \varphi$	φ	log ρ	$\varphi' - \varphi$
5°	9,99999	2′ 0″	35°	9,99953	10′ 49″	65°	9,99883	8′ 50″
10	9,99996	3 56	40	9,99941	11 20	70	9,99874	7 25
15	9,99990	5 45	45	9,99929	11 31	75	9,99867	5 47
20	9,99983	7 23	50	9,99916	11 21	80	9,99862	3 57
25	9,99974	8 48	55	9,99904	10 40	85	9,99858	2 1
30	9,99964	9 57	60	9,99993	9 59	90	9,99857	0 0

(1) Supponiamo fatta la correzione della rifrazione astronomica.

Digitized by Google

COROLLARIO III. — MODIFICAZIONE DELLE FORMOLE STABILITE PER LA PARALLASSE.

311. — La diversità del raggio terrestre nei vari luoghi di osservazione rende necessaria la divisione della parallasse orizzontale in equatoriale e polare. Se d rappresenta la distanza geocentrica dell'astro, a il semiasse equatoriale dello sferoide terrestre, b il semiasse polare, le rispettive formole (n. 266) saranno:

$$\text{Per la } \textbf{parallasse orizzontale} \begin{cases} \textbf{equatoriale} & \operatorname{sen} p = \dfrac{a}{d} \\ \textbf{polare} & \operatorname{sen} p_1 = \dfrac{b}{d} \end{cases} \quad (1)$$

In quanto alla parallasse orizzontale p_{11} di un altro luogo qualunque (A) tra l'Equatore ed uno dei poli (Figura 183), dovremo distinguere tra Zenit apparente Z, determinato dal filo a piombo (AO'), e tra Zenit vero Z', determinato dal raggio geocentrico $AO = \rho$; imperocchè ad essi corrispondono due orizzonti diversi, quello (tangente alla ellisse) $AH \perp AO'$, ed $AH' \perp AO$; sarà

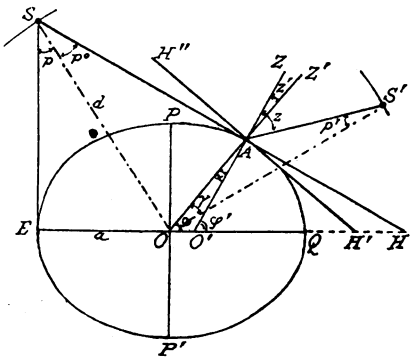


Fig. 183.

$$p_{11} = \frac{\rho}{d} \qquad (2)$$

La **parallasse di altezza** (p') di un astro S' dovrà similmente essere riferita non all'orizzonte AH, ma ad AH', ossia

Digitized by Google

non allo Zenit apparente Z, ma al vero Zenit Z'. Considerando perciò il triangolo S'AO, nel quale AO = ρ, OS' = d, avremo

$$\text{sen } p' : \text{sen S'A O} = \rho : d, \quad \text{ossia} \quad \text{sen } p' : \text{sen S'A Z'} = \rho : d;$$

donde risulta

$$\text{sen } p' = \frac{\rho}{d} \cdot \text{sen } (p' + \gamma);$$

nella qual formola γ [1] indica la distanza zenitale geocentrica di S'. Dividendo per $\cos p'$, avremo

$$\text{tang } p' = \left[\frac{\rho}{d} \cdot (\text{sen } p' \cos \gamma + \cos p' \text{ sen } \gamma) \right] : \cos p'$$

Ossia

$$\text{tang } p' = \frac{\rho}{d} \cdot (\text{tang } p' \cos \gamma + \text{sen } \gamma);$$

donde

$$\text{tang } p' \left(1 - \frac{\rho}{d} \cos \gamma \right) = \frac{\rho}{d} \text{ sen } \gamma$$

ovvero

$$\text{tang } p' = \frac{\frac{\rho}{d} \text{ sen } \gamma}{1 - \frac{\rho}{d} \cos \gamma} = \frac{\text{sen } p_{II} \text{ sen } \gamma}{1 - \text{sen } p_{II} \cos \gamma} \qquad (3)$$

Lasciando l' ulteriore sviluppo e l' applicazione di queste cose ai trattati più ampii, notiamo soltanto una cosa; cioè quando l'astro (S') trovasi fuori del Meridiano, i punti Z e Z' non si troveranno più in un medesimo circolo verticale con S'; avremo allora anche due piani verticali, l' uno (ZAS') apparente, l'altro (Z'AS') vero (geocentrico). La depressione parallattica avrà luogo nel secondo, operando allo stesso tempo una variazione dell'azimut di S' relativamente al primo. La soluzione dei problemi rispettivi si ottiene allora mediante il triangolo sferico formato sulla sfera celeste dal prolungamento dei raggi visuali AZ, AZ' ed AS', dei quali AZ ed

(1) $p' + \gamma = \text{Z'A S'} = \zeta - \zeta' = \zeta - \alpha = \zeta - (\varphi' - \varphi)$.

Digitized by Google

AS′ sono determinati dall'osservazione, AZ′ è dato dall'angolo $z' = \alpha = \varphi' - \varphi$.

Le alterazioni delle coordinate azimutali modificano evidentemente anche le coordinate equatoriali ed eclitticali. Per facilitare le trasformazioni rispettive delle posizioni apparenti di un astro (nuovo) osservato, del quale si ignora ancora la distanza dalla Terra, si sogliono aggiungere i cosidetti **fattori parallattici** (ossia i loro logaritmi) cioè, quei fattori particolari del luogo di osservazione, che, trovata la distanza, facilitano assai la riduzione delle coordinate osservate apparenti, alle coordinate vere geocentriche. Se la distanza fosse nota, si darebbe immediatamente l'effetto della parallasse stessa sulle due coordinate in questione.

CAPITOLO V.

RIASSUNTO E CONCLUSIONE.

312. — Dal detto fin qui apparisce, quanto sia laboriosa l'opera dell'astronomo, il quale vuol indicare sulla Sfera celeste con tutta la precisione possibile la posizione vera (geocentrica) di una stella o di un punto luminoso, di un astro qualunque.

Prima di tutto egli dovrà tenere conto dei vari errori strumentali, che richiedono le dovute correzioni, siano errori di divisione dei circoli graduati, errori di eccentricità dell'alidada, errori di livello, di collimazione, errori di collocamento ed orientazione, errori dell'orologio, del cronometro, ecc.

In secondo luogo dovranno essere eliminati, quanto è possibile, i cosidetti **errori personali**, dovuti forse ad un difetto di vista, all'apprensione più o meno pronta del momento preciso dell'osservazione, ad un ritardo commesso nell'atto di affidare questo momento al cronografo, ad un disegno difettoso, ecc.

Con tutte queste precauzioni l'osservatore non avrà ottenuto altro che la posizione di un astro ben osservata, la quale di poi deve essere corretta dall'effetto della rifrazione atmosferica. In questa bisogna tener conto della pressione atmosferica, della temperatura, dello stato igrome-

Digitized by Google

trico dell'aria, ecc. Trattandosi poi di un astro abbastanza vicino (Luna, Sole, pianeti, comete), ci vogliono ancora le correzioni dovute alla posizione dell'osservatore sulla superficie dello sferoide terrestre; bisogna tener conto della latitudine geografica e geocentrica del luogo di osservazione, per correggere la parallasse, e ridurre l'osservazione al centro della Terra.

Frutto di tutti questi lavori astrometrici sono i **Cataloghi degli astri,**[1] i quali registrando le posizioni delle stelle del Cielo per un dato tempo, servono poi di base per gli studi ulteriori da farsi sui loro spostamenti e movimenti. Di fatti, soltanto dopo che gli studi astrometrici ebbero accumulato il materiale necessario di osservazioni fatte nel decorso dei secoli, altri discutendo questo materiale poterono arrivare alla scoperta delle leggi, che governano i vari spostamenti e moti proprii degli astri. Allora soltanto fu possibile di separare i moti apparenti dai moti reali, i moti della Terra da quelli del Cielo e dei suoi asterismi; allora si potè stabilire un ramo nuovo della scienza astronomica, l'ASTROMECCANICA, che formerà il soggetto del seguente II libro.

Concludiamo con un elenco dei principali osservatori astronomici d'Italia; aggiungendo dell'estero soltanto quelli, il meridiano dei quali serve come termine di rapporto (nn. 82, 268).

(1) Lo spazio ristretto non ci permette neppure di enumerare i cataloghi principali, dei quali dal tempo di Tolomeo fino ai giorni nostri si contano più di cento tra generali e speciali. Un elenco abbastanza completo può vedersi nel Vade-Mecum de l'Astronomie di J. C. HOUZEAU (Bruxelles, 1882), p. 824 segg. Una lista minuta dei cataloghi moderni trovasi nel *Dizionario di astronomia* del dott. W. VALENTINER [Handwörterbuch der Astronomie, III^b, 478 segg. Breslau, 1895-1902]. Ivi il prof. Ristenpart (Kiel), oltre i titoli completi di circa 300 cataloghi, dà anche le solite abbreviazioni dei loro titoli, il numero e la qualità delle stelle registrate e l'equinozio rispettivo.

Circa 600 stelle, dette fondamentali, trovansi annualmente registrate nelle varie effemeridi astronomiche colla posizione media precisa (fino alla frazione di 1″) che occupavano nella sfera celeste al principio dell'anno rispettivo. Altre circa 100 000 stelle, fuori di queste, sono determinate con una precisione di 2″ incirca. Stelle nuove, comete, ecc., sogliono determinarsi mediante misure differenziali relativamente alle stelle anzidette. Recentemente la fotografia celeste presta un grande aiuto nella esatta determinazione delle posizioni stellari, come vedremo più sotto.

Digitized by Google

APPENDICE

313. — Osservatori astronomici d'Italia.

Luogo	Longitudine (1)	Latitudine	Fondato
Bologna	$0^h\ 45^m\ 24^s,9$	$44°\ 29'\ 54''$	1712-1725
Catania	1 0 20,6	37 13 13,3	1877
Firenze (R. Museo) . .	0 45 1,5	43 46 4,1	1774-1790
» (Arcetri) . . .	0 45 1,33	43 45 14,6	1872
Milano (Brera)	0 36 45,91	45 27 59,2	1760
Modena	0 43 42,1	44 38 52,8	1818-1826
Napoli (Capo di Monte) .	0 57 1,72	40 51 46,3	1815-1819
Padova	0 47 29,18	45 24 1,0	1761
Palermo	0 53 25,90	38 6 44	1789-1791
Roma (Campidoglio) . .	0 49 56,36	41 53 33,6	1848
» (Collegio Romano)	0 49 55,55	41 53 53,6	1572, 1787
» (Gianicolo) . . .	0 49 50,30	41 54 6,0	1882-1886
» (Vaticano) . . .	0 49 49,47	41 54 4,8	1891
Teramo (Collurania) . .	0 54 55,8	42 39 27	1894
Torino.	0 30 47,17	45 4 8,0	1759-1790
Venezia (Istit. di Marina)	0 49 22,12	45 26 10,5	1840

Osservatori principali esteri

(al meridiano dei quali si suol riferire la longitudine geografica).

Luogo	Longitudine	Latitudine	Fondato
Greenwich (Londra) . .	$0^h\ 0^m\ 0^s$	$51°\ 28'\ 38'',1$	1675
Parigi	0 9 20,90 E	48 50 11,2	1667
Berlino.	0 53 34,84 E	52 30 16,7	1705
San Ferdinando (Cadice)	0 24 49,34 W	36 27 42,0	1797
Washington	5 8 15,78 W	38 55 14,7	1842

(1) Le longitudini si riferiscono al meridiano di Greenwich; quelle d'Italia sono tutte contate verso Est (E); San Fernando e Washington verso Ovest (W). Le latitudini sono tutte boreali.

Digitized by Google

LIBRO SECONDO

ASTROMECCANICA

Digitized by Google

Digitized by Google

PARTE PRIMA

STUDI GENERALI SUI MOTI PLANETARI

CAPITOLO I.

I MOTI APPARENTI NEL NOSTRO SISTEMA PLANETARIO.

314. — Fra gli astri del cielo ve ne sono alcuni più brillanti delle stelle ordinarie e quindi facilmente osservabili, i quali, mentre partecipano al moto diurno, comune a tutte le stelle della volta celeste, mutano continuamente la loro posizione tra gli asterismi, e perciò dagli antichi furono detti **Pianeti**, cioè stelle che si muovono.(1) Di questi, cinque erano conosciuti dagli antichi, cioè: Mercurio (☿), Venere (♀), Marte (♂), Giove (♃) e Saturno (♄).

E poichè anche il *Sole* (☉) e la *Luna* (☽) percorrono con moto proprio, l'uno nello spazio di un anno, l'altra di un sol mese lo zodiaco, anch'essi furono annoverati fra i pianeti, il numero dei quali così salì a sette.(2)

(1) Πλανήτης (*vagante*). Cfr. n. 9.

(2) I nomi dei giorni della settimana sono derivati da questi sette pianeti: La Domenica (giorno del Signore) era anticamente chiamata giorno del Sole (*dies Solis, Sonntag, Sunday*); il Sabbato, giorno di Saturno (*dies Saturni, Saturday, Zaterdag*). I popoli germanici ed anglo-sassoni sostituirono, ai nomi latini, quei delle loro divinità rispettive.

Si sogliono talvolta usare i simboli dei pianeti a modo di abbreviazione, per indicare i singoli giorni della settimana in questo modo: ☉ Domenica, ☽ Lunedì, ♂ Martedì, ☿ Mercoledì, ♃ Giovedì, ♀ Venerdì, ♄ Sabbato.

La successione, diversa da quella della distanza relativa dei pianeti dalla Terra [♄, ♃, ♂, ☉, ♀, ☿, ☽], trova la sua spiegazione nell'antica credenza, più o meno astrologica, che ogni pianeta presiedeva ad un'ora del giorno; il primo, cioè quello che presiedeva alla prima ora, diede il suo nome al giorno rispettivo. Essendo il numero delle ore 24, compito tre volte il numero dei sette pianeti, vi restarono soltanto tre ore,

Digitized by Google

L'osservatore terrestre, proiettando questi astri coi loro spostamenti sul fondo della sfera celeste, ha l'impressione di trovarsi nel centro delle varie loro orbite, l'insieme delle quali forma ciò che suol chiamarsi Sistema planetario.

Mentre il moto (diurno) di tutte le stelle fisse presenta un ordine ed una regolarità tale, che non trova pari in tutto il resto della natura, i pianeti sono singolari per l'apparente mancanza di ogni legge, per la libertà capricciosa, colla quale ora prendono una direzione, ora un'altra; ora vanno con moto rapido, ora con un passo così rallentato, che sembrano stazionari. Mentre gli uni percorrono tutto lo zodiaco in pochi giorni o mesi, altri richiedono a ciò molti anni. Mentre il Sole colla sua luce offusca quella degli altri astri, quando trovasi sull'orizzonte, la Luna mostra uno strano cambiamento di fasi luminose nello spazio di un mese; altri, invece, come Mercurio, Venere e Marte mostrano una grande variabi-

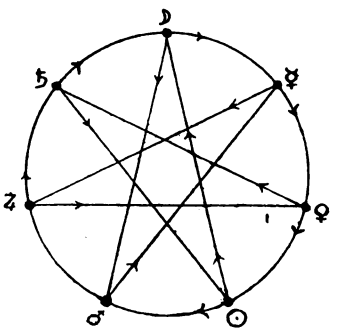


Fig. 184.

cioè 22, 23, 24 per il quarto turno, cosicchè il giorno seguente fu cominciato dal III pianeta dopo quello del giorno precedente. Così, per es., in giorno di Sabbato (♄) Saturno governava le ore: 1, 8, 15 e 22; Giove 23, ♂ 24; la prima ora del giorno seguente toccava quindi al Sole ☉ (dies Solis = Domenica). Con simile legge al Sole ☉ teneva dietro la Luna ☽ nel governo della prima ora del giorno seguente, e così di seguito: ☉, ☽, ♂, ☿, ♃, ♀, ♄. Raggruppando i sette pianeti sulla periferia di un circolo, e conducendo delle linee secondo la successione dei giorni, viene fuori una stella con sette punte (Fig. 184), che rappresenta la stessa cosa graficamente.

Per ricordare più facilmente la sovradetta successione naturale dei pianeti, fu inventato il versetto memoriale: *Post SIM SVM, ultima Luna subest.*

La Chiesa cambiò, almeno nell'uso liturgico, i nomi pagani. Di san Silvestro († 335) leggesi nel Breviario: «Sabbati et Dominici diei nomine retento, reliquos hebdomadae dies feriarum nomine distinctos (ut iam antea in Ecclesia vocari coeperunt) appellari voluit, quo significaretur, quotidie clericos abiecto ceterarum rerum cura, uni Deo prorsus vacare debere».

Digitized by Google

lità di luce e splendore. I più lenti nel loro movimento, Giove e Saturno, splendono più o meno colla stessa luce serena e tranquilla. (1)

315. — Fra questi astri dotati di moto proprio (almeno in apparenza) il **Sole** occupa un posto privilegiato non solamente per la sua grandezza e luminosità, ma anche per il calore benefico, che manda a noi, riempiendo di splendore, vita e forza tutto il sistema planetario che lo circonda. Esso percorre con moto poco vario, annualmente, il noto circolo massimo dell'Eclittica (n. 33) in senso « diretto », cioè secondo l'ordine dei segni zodiacali da Est verso Ovest, cambiando quindi soltanto la sua longitudine.

Dopo il Sole la **Luna**, che in grandezza apparente uguaglia quella del Sole, (2) sembra essere l'astro più regolare nei suoi movimenti. Anche essa percorre (nello spazio di un mese) con moto sempre « *diretto* » tutto lo zodiaco; ma la strada percorsa non segna un circolo massimo con quella approssimativa perfezione, come lo fa il Sole. La sua orbita apparente non è un'orbita chiusa; non ritiene la stessa posizione relativamente all'Eclittica. Inoltre la Luna non ha luce propria, ma splende con luce solare riflessa, come lo fanno palese le sue **fasi**. (3)

Irregolarissimi poi si mostrano gli spostamenti degli altri cinque pianeti, i quali non solamente cambiano posto nel senso della longitudine celeste, come il Sole, della latitudine come la Luna; ma inoltre, rallentando ovvero accelerando talvolta considerevolmente l'apparente velocità (media), cambiano la direzione diretta del loro moto in retrograda (contro l'ordine dei segni zodiacali), e viceversa. Nelle stazioni intermedie il loro spostamento (almeno in longitudine) sembra nullo. Con tutto ciò non escono mai fuori della zona zodiacale (n. 14).

(1) Aristotele (*De coelo*, l. 2, c. 2, n. 48) nota già, che i pianeti non scintillano come le stelle fisse; la spiegazione ivi data di questa anomalia è meno felice.

(2) Il diametro apparente del Sole (a cagione della distanza variabile dalla Terra) varia tra 31′ 30″,8 e 32′ 35″,2; il valore medio 32′ 3″ supera di poco quello della Luna (31′ 6″).

(3) Φάσις (*apparenza*). Soltanto dopo l'invenzione del telescopio fu scoperto, che anche gli altri pianeti presentano simili fasi, e che essi conseguentemente sono globi oscuri, illuminati dal Sole.

Digitized by Google

316. — Consideriamo per esempio il moto apparente del pianeta **Marte** (♂), come l'osservammo nell'anno 1900 (Fig. 185). Nella figura vediamo disegnata la strada percorsa dal pianeta dal mese di ottobre (X) 1900 fino al mese di luglio (VII) 1901. In questo periodo Marte, fulgente colla sua luce sanguigna come una stella di prima grandezza, attraversava la costellazione del Leone, la quale colle sue molte stelle brillanti (α di I grandezza; β, γ, δ di II) rese i movimenti del pianeta anche più cospicui del solito, a cagione delle varie nuove configurazioni.

Il 26 ottobre 1900 le coordinate equatoriali di Marte erano: A.R. $= 9^h\ 20^m$, decl. $= 17°\ 10'$. Da questa posizione il pianeta

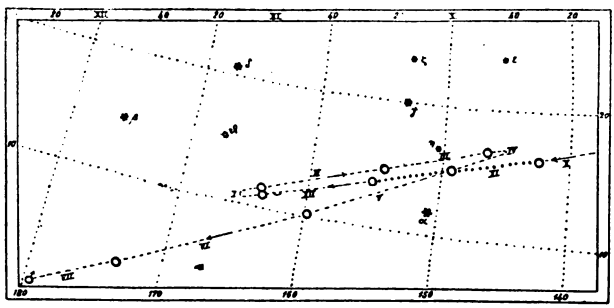


Fig. 185. Moto apparente di Marte (1900-1901).

avanzava con moto diretto, avvicinandosi allo stesso tempo sempre più al parallelo di 10°. Il movimento però diventava sempre più rallentato e finalmente (14 gennaio 1901) sembrava totalmente annullato; Marte era stazionario nella posizione: A.R. $= 11^h\ 1^m$, decl. $10°\ 14'$. Poco dopo, piegando verso Nord, ripigliava il suo cammino con moto retrogrado, prima accelerato, poi di nuovo rallentato. Arrivato alla posizione A.R. $= 9^h\ 45^m$, decl. $= 16°\ 43'$ (4 aprile 1901), fece ivi un'altra stazione; piegando poi verso Nord, ripigliò il suo moto diretto con corsa sempre più accelerata.

317. — Si notava allo stesso tempo un insolito splendore del pianeta, specialmente verso la sua opposizione (al Sole), la quale accadde precisamente il giorno 21 di febbraio. Passava allora Marte superando assai la luce di Regolo (α Leonis) verso mezzanotte al meridiano; cioè alla culminazione

Digitized by Google

inferiore del Sole corrispondeva la culminazione superiore del pianeta. Nel mese di giugno lo splendore era ritornato a quella dell'ottobre precedente, cioè a quello di una stella di seconda grandezza.

Osservando in questi vari periodi il pianeta nel telescopio, e misurando per mezzo del micrometro (num. 184) il suo diametro apparente, si poteva facilmente accertare, che questo incremento di luce era accompagnato da un aumento del diametro apparente,[1] donde facilmente si scorgeva, che il pianeta nell'orbita sua ora si avvicinava, ora si allontanava dalla Terra. Si noti poi, che anomalie simili nel moto del pianeta accadono sempre, e si ripetono in modo somigliante, quando questo, percorrendo lo zodiaco, arriva di nuovo ad un punto opposto al Sole (alla sua opposizione).

318. — Osservazioni analoghe si fanno rispetto agli altri pianeti; per esempio Giove (♃) e Saturno (♄). Questi due nel medesimo anno 1901 stavano uno vicino all'altro nella costellazione del Sagittario. La figura 186 (pag. 302) rappresenta il loro movimento nei singoli mesi dell'anno. [I numeri 1, 2, 3, ... 12 (gennaio, febbraio, marzo, ... dicembre) quello di Giove; gli altri I, II, III, ... XII quello di Saturno].

L'opposizione di Giove (♃☍☉) accadeva il 30 giugno, quella di Saturno (♄☍☉) il 5 luglio. Un massimo avvicinamento scambievole dei due pianeti, ossia la congiunzione (♃☌♄), ebbe luogo il giorno 28 di novembre, quando Giove, il più veloce,[2] rincorse Saturno e l'oltrepassò ad una distanza minore di $\frac{1}{2}$ grado. Le due stazioni, tra le quali si osservò il moto retrogrado, per Giove accaddero il 30 aprile e 30 agosto; per Saturno il 25 aprile e 14 settembre.[3]

(1) Il diametro del disco apparente alla fine di ottobre misurava 6″ soltanto, mentre dal 15 febbraio al 3 marzo era di 13″,8.

(2) Giove percorre tutta l'eclittica in circa 12 anni; Saturno impiega a ciò fare più di 29 anni. Confrontando questi movimenti di ♄ e ♃ della figura 187 con quella di ♂ (Fig. 186), si avverta che la scala dei due disegni è molto differente.

(3) Le posizioni corrispondenti erano:

♃	A. R.	$= 18^h\ 56^m,7$	Decl.	$= -22°\ 39'$
	»	$= 18^h\ 14^m,1$	»	$= -23°\ 30'$
♄	»	$= 19^h\ 10^m,8$	»	$= -21°\ 55'$
	»	$= 18^h\ 42^m.5$	»	$= -22°\ 45'$

Digitized by Google

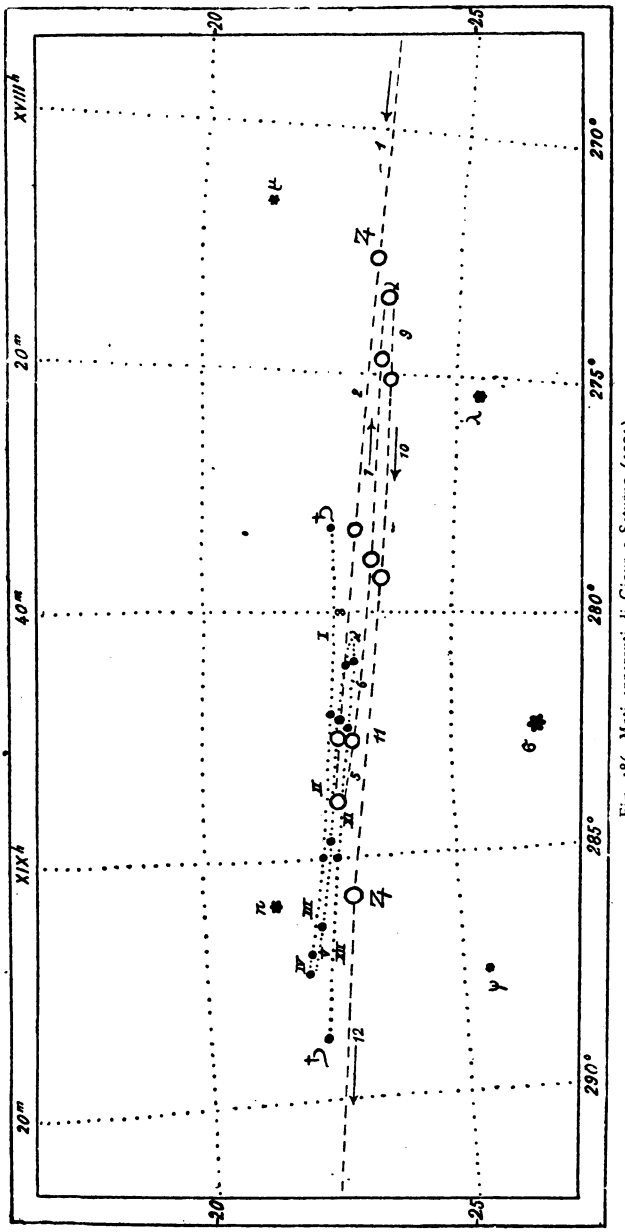


Fig. 186. Moti apparenti di Giove e Saturno (1901).

Digitized by Google

Il cambiamento di splendore ed il cambiamento del diametro apparente (a cagione della grande distanza di questi pianeti dalla Terra) è meno considerevole; anzi ad occhio nudo quasi insensibile. Vale però anche qui la regola, che il periodo della retrogradazione avviene sempre al tempo dell'opposizione.

319. — I pianeti **Mercurio** (☿) e **Venere** (♀), benchè non vengano mai in opposizione col Sole, nondimeno anch'essi rappresentano delle anomalie nel loro andamento, somiglianti a quelle dei suddetti pianeti; anch'essi hanno le loro stazioni e retrogradazioni, accompagnando però il Sole (☉) nel suo corso per l'eclittica; ora precorrendolo verso Est con moto accelerato; ora ritardando (anzi ritornando indietro verso Ovest) si fanno pedissequi del medesimo Sole, intorno al quale compiono in tempo determinato i loro giri (Fig. 187, pag. 304). Trovandosi verso Est dal Sole splendono sul cielo nella sera (come stelle vespertine), trovandosi verso Ovest dal medesimo, adornano il cielo della mattina, annunziando come stelle mattutine il vicino levare del Sole.[1]

Così, per esempio, tra i mesi di maggio (V) e di novembre (XI) del 1900, osservando di giorno in giorno la posizione di questi tre astri sulla volta celeste, si potevano rintracciare le curve, qui riprodotte, descritte dai medesimi tra le stelle α *Geminorum* (Castor, la superiore nel disegno) ed α *Canis minoris* (Procyon, la inferiore). Dal principio di maggio fino al 23 luglio **Venere** superava l'Ascensione retta del Sole; poteva quindi essere considerata come stella vespertina (tramontando dopo il Sole). Prima che il Sole nel suo andamento (regolare) per l'eclittica avesse raggiunta quella posizione (A. R. $= 7^h\ 44^m$), Venere era diventata stazionaria (16 giugno) e avea poi, attraversando l'eclittica (19 giugno), cominciato una corsa regressiva, incontrando l'ascensione retta del Sole nel detto giorno. Diventando poi stella mattutina continuò il suo

(1) Il nome di *Stella mattutina* e *vespertina* si applica in modo speciale al pianeta *Venere*, essendo questo più facilmente osservabile per la sua maggiore lontananza dal Sole e per il suo intenso splendore, che lo rende talvolta anche visibile ad occhio nudo, quando il Sole già brilla sull'orizzonte.

Digitized by Google

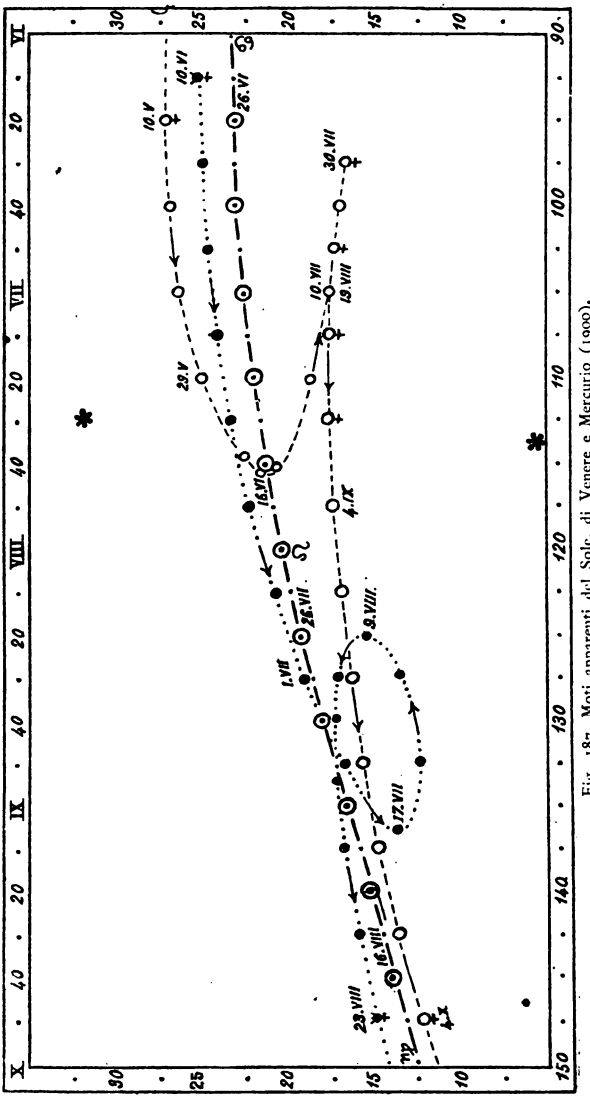


Fig. 187. Moti apparenti del Sole, di Venere e Mercurio (1900).

moto retrogrado fino al 30 di luglio. Stazionaria di nuovo, ripigliò il moto diretto, seguendo quello del Sole, con corsa accelerata (come vedesi nella figura).

Digitized by Google

Mercurio, seguendo il pianeta Venere, diventato questo retrogrado, l'incontrò (in Asc. retta $7^h\ 41^m$) il giorno 22 giugno, proseguendo però il suo corso diretto, piegando verso Sud, attraversò l'eclittica (3 luglio), divenne stazionario (17 luglio), con moto retrogrado incontrò il Sole (31 luglio); facendo poi (9 agosto) una seconda stazione, ripigliò il moto diretto; attraversando una seconda volta l'eclittica (22 agosto) seguì il Sole come stella mattutina.

Le escursioni di Venere, di qua e di là dal Sole, sono più grandi di quelle di Mercurio, come è pure più notevole l'incremento di luminosità (ossia di apparente grandezza) durante la retrogradazione. (1)

Ecco i fatti facilmente osservabili, e simili movimenti sono realmente stati osservati e registrati da tempi remotissimi. Come spiegarli? La semplice considerazione dei medesimi, mostra una curiosa **dipendenza dei pianeti dal Sole**. Quest'astro del giorno sembra in modo innegabile tenere un certo primato, non soltanto di splendore, grandezza ed influsso benefico, ma anche di vero governo. I pianeti Marte, Giove e Saturno hanno un andamento del tutto eccezionale, quando trovansi in opposizione col Sole; i pianeti Mercurio e Venere sembrano ancora più intimamente connessi coll'andamento del Sole; e finalmente la Luna (annoverata essa pure dagli antichi tra i pianeti) benchè girante, con una certa indipendenza dal Sole, intorno alla Terra, pur nondimeno deve al Sole la bella variazione delle sue fasi.

Noi ora sappiamo la ragione vera di tutte queste cose: cioè il Sole trovarsi in realtà come corpo principale e centrale in mezzo ai pianeti, che (non eccettuata la Terra nostra) circolano intorno al medesimo; ma si durò grande fatica, perchè questa conclusione fosse accertata; ed è veramente molto istruttivo di seguire lo sviluppo storico delle idee intorno al Sistema planetario dai primi tempi dell'astronomia scientifica fino ai tempi più recenti, che portarono le ultime prove: il sistema planetario in realtà non essere altro che un **Sistema solare**.

(1) Il diametro apparente di Mercurio varia da 4″,5 a 12″; quello di Venere da 9″,5 a 62″.

Digitized by Google

COROLLARIO. — I VARI ASPETTI DEI PIANETI E LORO SIMBOLI.

320. I pianeti, percorrendo tutto lo zodiaco con periodi diversi, mutano continuamente la loro configurazione scambievole, formando degli aspetti vari, alcuni dei quali sono insigniti di nomi e simboli particolari.

Congiunzione (☌) chiamasi il momento del massimo avvicinamento di un astro coll'altro. Ordinariamente però dicesi uno in congiunzione coll'altro, quando tutti e due hanno la stessa longitudine.(1) Quindi per dire che Mercurio sta in congiunzione col Sole, ossia per indicare, che la longitudine di Mercurio è uguale a quella del Sole, si scrive semplicemente: ☿☌☉.

Congiunzione superiore (rispetto al Sole) indica che il pianeta passa al di là del Sole; Congiunzione inferiore, che passa di qua, cioè tra la Terra ed il Sole; cosa soltanto possibile nel caso di Mercurio e Venere (astraendo dalla *Luna*, la quale come satellite della Terra non può avere una congiunzione superiore col Sole).

Opposizione (☍) indica la differenza in longitudine (oppure in ascensione retta) di 180° tra un pianeta e l'altro, specialmente il Sole. Se per esempio Marte sta in opposizione col Sole (☌☍☉), questo indica, che alla sua culminazione superiore (a mezzanotte) corrisponde la culminazione inferiore del Sole. Conseguentemente il pianeta si leva presso a poco col tramonto, e tramonta col levar del Sole (2).

(1) I termini vengono ugualmente applicati alle varie differenze di Ascensione retta; bisogna però indicare questo significato particolare. — Grande congiunzione (*coniunctio magna*) chiamasi talvolta la congiunzione dei grandi pianeti ♃ e ♄ (Fig. 186), ai quali tosto si aggiunge anche ♂; offerendosi così il bello spettacolo di questi tre astri fulgenti nel cielo a poca distanza l'uno dall'altro. Più bello diventa ancora, quando questo convegno accade in vicinanza di Stelle fisse di I o II grandezza. Se la detta congiunzione avviene vicino al punto d'Ariete, essa viene chiamata Congiunzione massima (cf. Kepleri Op. Frisch. VI, 495).

(2) Si chiama, generalmente parlando, il levare d'una stella, levare acronittico (ἀκρονύκτιος, dal principiare della notte), se essa si leva sull'orizzonte d'un luogo, mentre il Sole tramonta; tramontare acronittico, se tramonta insieme col Sole. Similmente chiamasi levare e tramontare cosmico (κόσμος = *ordine*) il nascere e tramontare di

Digitized by Google

Quadratura (□) indica una differenza di 90°. Siccome Mercurio non si scosta mai più di 28°, e Venere non più di 46° gradi dal Sole, essi non possono mai (come Marte, Giove e Saturno) venire in quadratura col Sole, ma bensì colla Luna (☿□☽).

Altri aspetti, come il *trigonale* (△) e *sestile* (✳), che significano una differenza (di long.) di 120° e 60°, ora sono poco in uso.

CAPITOLO II.

SISTEMI PLANETARI DEGLI ANTICHI.

ART. I. — PRENOZIONI GENERALI. (ASTROLOGIA ED ASTRONOMIA).

321. — La grande variabilità nei vari aspetti dei pianeti, descritti nel capitolo precedente, dovette necessariamente dai primordi del genere umano eccitare la curiosità degli spettatori del cielo stellato. Uomini superstiziosi tosto videro in quei movimenti i segni di una volontà superiore, ora propizia, ora fatale alla sorte degli uomini. I più savi tra essi cercarono di trovare la chiave per l'interpretazione dell'influsso, che i vari aggruppamenti delle stelle mobili, secondo essi, esercitavano sulle cose terrene, sulla fortuna delle nazioni, anzi sul temperamento e sulla stessa volontà degli individui. Ebbe così origine l'**Astrologia**, cioè quella scienza o arte chimerica, che pretendeva di potere, per mezzo di certe regole, formulare delle legittime conclusioni sulle varie sorti degli individui e dei popoli, osservando o calcolando semplicemente la configurazione dei pianeti per certe ore determinate della loro vita (per es. della natività, trattandosi di singoli individui).(1)

quelle stelle, le quali allo stesso tempo col Sole salgono sopra o scendono sotto l'orizzonte. Quando finalmente, a cagione del moto apparente annuo del Sole per l'Eclittica, le stelle circonvicine spuntano dai raggi solari o vengono eclissate dai medesimi, si suol dire, che esse si levano o tramontano eliacamente; donde vengono poi i termini tecnici levare e tramontare eliaco (ἡλιακός = *solare*). Cfr. nn. 48 e 233.

(1) Ciò si chiamava osservare *l'oroscopo* (ὡροσκόπος).

Digitized by Google

Queste aberrazioni dalla vera scienza astronomica trovarono sempre degli aderenti presso tutte le nazioni, non solamente fra i popoli barbari e poco civilizzati, ma presso le nazioni colte e civili. L'uffizio degli Astronomi e Matematici nelle corti dei grandi (fino al secolo XVI) si riduceva, pur troppo spesse volte, a quello di fare dei pronostici sugli avvenimenti futuri di intraprese, di commerci, di avventure, crisi, litigi, guerre, ecc. L'arte degli astrologi, benchè assai sospetta e talvolta severamente proibita da leggi ecclesiastiche e civili, si mantenne nondimeno per molti secoli. Finchè il moto degli astri non fu spiegato in modo soddisfacente, era difficile, specialmente per i non iniziati, di assegnare i limiti tra la vera scienza («astrologia naturale») e l'impostura superstiziosa (astrologia giudiziaria).[1]

Trovate finalmente le leggi fisiche, che governano tutti quei movimenti, non soltanto nel nostro sistema planetario, ma in tutto l'universo, l'*astrologia* spariva da sè, dimodochè oggidì si può dire totalmente spenta e dimenticata.

322. — Nessuno quindi aspetterà in questo luogo un'esposizione di quelle regole, formole e canoni, stabilite dagli astrologi fino dai tempi antichissimi. Lasciamo pure da parte tutti quei «sistemi planetarii», che devono la loro origine a combinazioni fantastiche, a miti leggendarii, ad invenzioni poetiche, talvolta empie e superstiziose, restringendo la nostra considerazione a quei soli *sistemi*, che fondati sopra l'osservazione seria degli astri, vanno in modo logico e scientifico alla ricerca delle fisiche leggi dell'universo.

(1) Lo stesso nome di *Astrologia* era adoperato indifferentemente per l'una e l'altra. Siccome poi la maggior parte di quelli, che professavano l'astrologia ai tempi classici di Roma, venivano dalla Caldea, ossia dalla Mesopotamia, troviamo presso gli autori adoperati come sinonimi i nomi di *Astronomi, Astrologi, Caldei, Babilonii, Genetliaci, Matematici, Planetarii*, ecc. «*Matematici*», scrive in questo senso TACITO (*Hist.* I, 22) «*genus hominum potentibus infidum, sperantibus fallax, quod in civitate nostra et vetabitur semper et retinebitur*». CICERONE (*De divin.* l. 1) porta vari argomenti contro gli astrologi, concludendo con queste parole: «Contemnamus Babilonios et eos qui ex Caucaso coeli signa servantes numeris et motibus stellarum cursus persequuntur; condemnemus inquam hos aut stultitiae, aut vanitatis aut imprudentiae, qui CCCCLXX millia annorum, ut ipsi aiunt, monumentis comprehensa continent». Cf. S. Thom. Summa theol. I–II, qu. 9, a. 5; I, qu. 115, a. 3.

Digitized by Google

Se questo nostro studio comincia coi **sistemi degli antichi Greci**, con ciò non vogliamo asserire, che la vera scienza astronomica non rimonti più in alto, che la culla della medesima sia da ricercarsi nella Grecia, e che IPPARCO celebre rappresentante di quel paese (nel secolo II av. Cr.) sia giustamente considerato come il « Padre dell'Astronomia scientifica ». Prevalse pur troppo presso gli scrittori l'opinione che i popoli di civiltà molto più antica, come i Caldei, Indiani, Egiziani e Cinesi, non si siano mai alzati colle loro idee astronomiche al disopra del livello di un'astrologia più o meno superstiziosa ed inutile. « Altro è il dire », scrive uno di questi autori, « che popoli collocati in vastissime pianure abbiano guardato il cielo, ammiratone i moti, tenuto conto degli eclissi; altro è che quella moltitudine d'osservazioni, senza scopo, senza nesso, senza precisione, siansi dirizzate a trovare le leggi costanti del cielo, i rapporti fra complicati fenomeni, cui solo può svolgere un lungo ed attento studio, appoggiato dal calcolo, dalla geometria, da fisici stromenti, da esatte misure del tempo, dal corredo insomma di un'adulta civiltà. Quel primo passo poteano farlo e Caldei ed Egizi e Cinesi; ma la scienza progressiva non nacque se non quando i Greci seppero strapparla dal santuario ».[1]

323. — Che questo ed altri giudizi somiglianti non potevano considerarsi come definitivi, lo mostravano già certe citazioni (raccolte dall'*Ideler*)[2] di Plinio, Porfirio e dello stesso Tolomeo.

Plinio († 79 d. Cr.) nella sua *Storia naturale*[3] parla di mattoncelli di terra cotta, nei quali i Babilonesi (da tempo im-

(1) Cantù, Storia univ. Torino, 1862, I, 69. — Sarebbe facile di raccogliere un buon numero di simili giudizi presso gli scrittori della storia dell'Astronomia: Delambre, Wolf, Mädler, Houzeau, ecc.

(2) « Ueber die Sternkunde der Chaldäer ». Berlin, 1814.

(3) *Epigenes* apud Babylonios DCCXXM annorum observationes siderum *coctilibus laterculis* inscriptas docet, gravis auctor in primis: qui minimum *Berosus* et *Critodemus* CCCCXCM annorum. — Alcuni autori, credendo esagerati questi numeri, hanno omesso il (millesimo) M riducendo così gli anni citati a 720 e 490; altri, trovando la lettera M nei manoscritti più antichi, asseriscono trattarsi di « *Anni diales* », cioè di *giorni*; allora i numeri si ridurrebbero a 1791 e 1341 anni (Giuliani), e combinerebbero con quei citati dal Porfirio. Cf. C. Plinii Secundi, Historia

Digitized by Google

memorabile) aveano registrato delle osservazioni astronomiche. Porfirio († 304 d. Cr.) attesta che Kallistene, il quale accompagnava Alessandro Magno nell'Asia Minore, mandò al suo maestro Aristotele una serie di osservazioni astronomiche, che rimontavano a 1903 anni prima di quell'epoca; Tolomeo finalmente allude in più luoghi del suo *Almagesto* alla grande età dell'Astronomia babilonese. — Tuttavia potea essere dubbio, se quelle osservazioni meritassero fede, se di più contenessero dei calcoli, i quali, fondati sopra un *sistema* qualunque *planetario*, supponessero cognizioni più profonde delle leggi astronomiche.

324. — Questo dubbio è stato schiarito in questi ultimi tempi da un esame diligente e rigoroso di quei mattoncelli, che essendo stati più di duemila anni sepolti sotto le rovine babiloniche, ora si vedono tratti di nuovo alla luce nelle ricerche archeologiche di quei luoghi. Molte migliaia di questi preziosi documenti colla loro *scrittura cuneiforme* (fin d'allora perfettamente ignota) furono trasportati al museo britannico di Londra, dove eccitarono non poco la curiosità non solamente del volgo, ma dei dotti e scienziati, i quali con nobile gara cercarono di decifrare quei misteriosi segni, che in forma di piccoli cunei (o frecce), diversamente disposti ed aggruppati, coprivano quei strani documenti. Trovata finalmente la chiave dell'interpretazione di quei simboli, e scoperto pian piano il significato di una parola dopo l'altra, fu possibile di separare i documenti astronomici dal resto, e sottometterli ad uno studio speciale. Grande fu la sorpresa, quando si pubblicarono i primi risultati delle ricerche, fatte con eccezionale industria e pazienza.[1] Era oramai un fatto accertato, che i Caldei fin dai secoli VII

naturalis ex recensione Harduini, l. 7, c. 57. Aug. Taurin. 1831. Beroso, il dotto babilonese del sec. III (av. Cr.), che si meritò, per il suo sapere, una statua in Atene, narra che il re Nabonassar (747 av. Cr.) fece distruggere tutti i documenti dal 2231 (av. Cr.) fin allora esistenti, per cominciare la sua Èra nuova.

(1) Perfino i nomi o segni delle stelle e dei pianeti dovettero essere indovinati uno dopo l'altro: Gut-tu (☿), Dil-bat (♀), An-u (♂), Te-ut (♃), Mullalu (♄). Cf. Epping-Strassmaier, « Astronomisches aus Babylon ». Herder, Freiburg, 1889. — Kugler, « Die babylonische Mondrechnung ». Ivi, 1900. Questi tre lodati nostri colleghi (S. J.) si sono molto segnalati in questi studi.

Digitized by Google

ed VIII (av. Cr.) aveano non soltanto i loro ben costituiti osservatorî astronomici, dove osservavano e registravano con precisione[1] l'andamento degli astri, ma di più, che essi trovaronsi in possesso di cognizioni scientifiche tali, da poter pubblicare anticipatamente delle effemeridi planetarie, calcolate secondo metodi diversi, che ricordano in qualche modo quelle dei nostri osservatorî moderni di Greenwich, Berlino, Parigi, Washington.

Così si conferma sempre più il fatto, che la vera culla della scienza astronomica deve ricercarsi nella **Mesopotamia** (nelle pianure del « Senaar »), cioè tra i grandi fiumi Eufrate e Tigri, donde si propagò nei popoli circonvicini. Le scoperte di Ipparco furono preparate (se non già fatte) prima nella Caldea.

Le ricerche però non sono ancora arrivate a quel compimento, che sarebbe necessario per poter dedicare un capitolo speciale ai **Sistemi astronomici dei Caldei**, cosa riservata ai tempi futuri (non più lontani). Per ora dobbiamo contentarci di avere diretto l'attenzione degli studiosi sulla quistione, della quale speriamo una pronta soluzione.

325. — Una grande difficoltà provarono, generalmente parlando, tutti gli antichi, di concepire la Terra senza un sostegno materiale, equilibrata in mezzo all'Universo. Vedendo, che tutte le cose alla superficie terrestre cadono, se non sono sostenute da qualche appoggio, era pur troppo naturale la domanda: e chi sostiene la Terra?

Talete di Mileto († circa 580 a. Cr.), uno dei sette savii della Grecia, fondatore della « Scuola jonica », per dare una soluzione all'arduo problema, asseriva che la Terra (come una nave, ovvero un'isola) galleggiava sopra le acque dell'oceano. Una prova di ciò (oltre il vedere i continenti circondati dal mare) credeva di trovare nei terremoti.[2] Ma concessa pure la spiegazione, chi poi conteneva le acque di questo immenso oceano? — Inoltre la spiegazione stessa viene già confutata da **Aristotele**, il quale bene osserva, che la Terra ha un peso

(1) Le distanze angolari degli astri sono misurate con precisione fino a 6', i tempi rispettivi determinati con esattezza dentro i limiti di poco più di mezzo minuto (40 sec.).

(2) Cf. Seneca, Natur. Quaest. l. 6, c. 6 e l. 3, c. 13.

Digitized by Google

(specifico) maggiore dell'acqua, e perciò è impossibile che galleggi sulla superficie di questa.(1)

326. — Di più al tempo dello Stagirita (sec. IV av. Cr.) era già conosciuta e provata la figura globulare della Terra (num. 290), tutta circondata dall'aria. Come dunque spiegare che questo globo gigantesco non cade, ma si mantiene fermo al suo posto? Perchè – avevano già detto i filosofi anteriori (Anassimene, Anassagora e Democrito discepoli di Talete) – perchè l'aria, compressa dalla Terra sovrastante, è capace di sostenerla! — Aristotele invece vede la ragione della stabilità della Terra in ciò, che nel centro di essa si trova il vero centro di attrazione di tutto l'Universo; quindi tutto deve essere conglobato intorno a questo.(2)

Ma allora nasce la questione, perchè la Luna e gli altri pianeti non sentono l'attrazione di questo centro e precipitano sulla Terra? — Non si potrà dire, osserva **Seneca** (sec. I d. Cr.), che i corpi celesti siano appoggiati sull'aria tanto leggera, ovvero che siano ritenuti da certi freni (invisibili). Forse avranno ragione altri, che contendono, che la Terra (con tutti i pianeti) veramente precipita: ma noi non ci accorgiamo di questo moto di caduta, perchè manca il termine di confronto, cadendo essi nello spazio sterminato!(3) Ma di nuovo se è così, come spiegare poi quei moti strani e singolari che ciascun pianeta compie intorno alla Terra? Non sarà più probabile, dice **Plutarco**, che siano tanti centri di attrazione o di gravità, quanti sono i corpi celesti, e che la sfera di attrazione di ciascuno sia limitata?(4)

Ecco gli ardui problemi dell'Astromeccanica antica. Vedremo nei capitoli seguenti lo sviluppo storico-scientifico della loro soluzione.

(1) De Coelo, l. 2, tex. 79.

(2) Questa opinione erà già così assodata, almeno presso i dotti (ai quali contrastava la massa popolare), al tempo di PLINIO, che si concepiva la possibilità di *uomini antipodi*, ai quali sembrasse forse altrettanto strano, che noi non cadiamo nel vuoto, quanto pare strano a noi, che non precipitino essi. Cf. Plinii, Histor. nat. l. 2, c. 65.

(3) Nat. Quaest. l. 7, c. 14.

(4) Plutarchi, De facie in orbe Lunae, c. 8.

Digitized by Google

ART. II. — SISTEMA PLANETARIO DELLE SFERE OMOCENTRICHE.

327. — I filosofi greci della cosidetta **Scuola Accademica di Atene** (Socrate † 400, Platone † 348, Eudosso † 356, Aristotele † 332 e Calippo suo contemporaneo) prepararono e stabilirono un sistema planetario, che trovò degli ammiratori fino al secolo XVI: il cosidetto SISTEMA DELLE SFERE

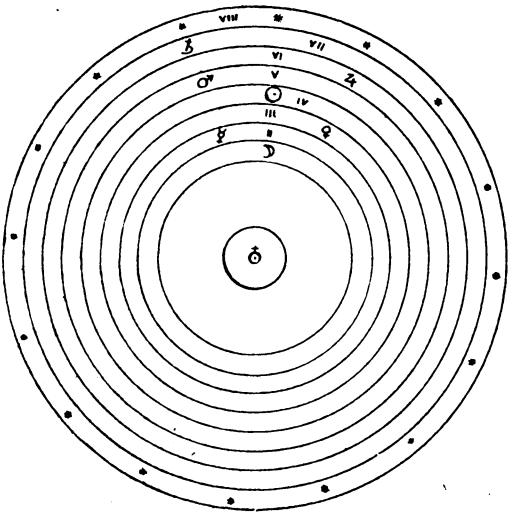


Fig. 188. Sistema delle Sfere omocentriche.

OMOCENTRICHE (Fig. 188).[1] Stabilito il comune centro di gravità nel centro della Terra, conglobata al medesimo, i filosofi suddetti, per spiegare in qualche modo il non cadere degli altri corpi celesti, immaginarono delle sfere concentriche intorno al globo terrestre (più o meno materiali),[2] sostenenti i

(1) Ομόκεντρος vuol dire: centro comune (δμός) colla Terra.

(2) La materialità di queste sfere è stato oggetto di molto scherno da parte di certi autori moderni, che le pongono in ridicolo, ma con ciò (come avverte bene l'illustre Schiaparelli) danno prova di intelletto assai corto. — Eudosso stesso considerava quelle sfere come una mera *rappre-*

Digitized by Google

pianeti in un modo somigliante alle « *stelle fisse* », le quali si credevano realmente *fissate* in un globo celeste. Questa sfera delle stelle fisse racchiudeva (secondo quegli autori) tutte le sfere inferiori dei pianeti. Girando intorno all'asse del mondo in 24 ore, col suo moto (apparente), cotanto regolare ed ordinato, essa sembrava rappresentare il vero tipo d'un moto celeste, sommamente perfetto.

Siccome poi sette era il numero degli astri mobili (pianeti), così si concepirono tra la Terra e la sfera delle fisse (il Primo mobile), sette altre sfere portanti la Luna (☽), Mercurio (☿), Venere (♀), il Sole (☉), Marte (♂), Giove (♃) e Saturno (♄). Seguendo questa successione, la sfera delle stelle fisse teneva il posto ottavo, donde ricevette anche semplicemente il nome di Sfera ottava.

Qui però alla mente speculativa dei detti filosofi si presentò subito una difficoltà: secondo essi le *cose celesti* superavano sotto ogni rispetto le cose terrene: nel cielo tutto dovea spirare perfezione, non soltanto in quanto alla sostanza dei corpi celesti, ma anche in quanto alla loro figura (rotonda globulare) e al loro *moto circolare ed uniforme*, col quale in tempi uguali percorressero archi uguali e circolari. Indi il **problema proposto da Platone** a' suoi discepoli: « *Come si possono ridurre a moti circolari ed uniformi i movimenti dei pianeti in apparenza tanto irregolari?* »

328. — La ingegnosa soluzione, data da **Eudosso**, fin oggi merita l'ammirazione di tutti, almeno di quelli, che sanno ponderare le immense difficoltà, che in quei tempi si opponevano alla scoperta della realtà delle cose astronomiche. — Eudosso dunque diede a ciascun pianeta più sfere omocentriche, giranti tutte *con moto uniforme* intorno al medesimo centro della Terra, ma intorno ad assi diversamente collocati. Così, per esempio, il Sole era portato da tre sfere, delle quali una, coll'asse parallelo o coincidente coll'asse del mondo, seguiva il moto diurno del « Primo mobile »; l'asse della seconda sfera solare era quello dell'Eclittica. Col girare intorno ad esso

sentanza geometrica dei fenomeni, senza la minima indicazione (per quanto consta dai documenti conservati) che si pensasse a *sfere materiali e reali*, le quali comunicassero i loro moti una all'altra. Cf. Schiaparelli, « Le sfere omocentriche ». Milano, 1875.

Digitized by Google

questa sfera produceva il moto apparente del Sole attraverso lo Zodiaco. Una terza sfera era necessaria per spiegare le irregolarità apparenti di questo secondo spostamento. Anche per la Luna sembravano bastare tre sfere, mentre i pianeti (ora propriamente così detti) aveano bisogno di una quarta sfera, per spiegare la loro retrogradazione. Ecco lo **schema di Eudosso**[1] colle sue 27 sfere:

Pianeti:	☽	☉	☿	♀	♂	♃	♄	*
Sfere:	3	+ 3	+ 4	+ 4	+ 4	+ 4	+ 4	+ 1 = 27

Permettendo perfino un'imitazione materiale per mezzo di altrettante sfere armillari, questo sistema come rappresentazione geometrica dei moti principali dei pianeti, fin allora osservati o conosciuti presso i Greci, sembrava soddisfare alle condizioni poste da Platone. Un confronto però più esatto coi fatti dipoi osservati, mostrò tosto la necessità di una revisione ed emendazione del sistema eudossiano, la quale nel secolo susseguente fu fata da Calippo di Cizico.

329. — Calippo, celebre ed abile astronomo, discepolo della Scuola di Eudosso, visse con Aristotele in Atene dal 306 all'anno 323 av. Cristo. Essendo andati perduti i suoi scritti, come quelli di Eudosso, possiamo ricostruire il suo sistema soltanto dalle citazioni che ne fanno gli altri dotti, specialmente Aristotele.[2] Secondo queste egli avrebbe aggiunto delle nuove sfere a quelle già stabilite da Eudosso, cioè per la Luna due, per il Sole due, una per Venere, Mercurio e Marte; dimodochè invece delle 26 sfere planetarie di Eudosso, se ne ottennero 33, come vedesi nello schema seguente:

Pianeti:		☽	☉	☿	♀	♂	♃	♄
Sfere di Eudosso:	3	+ 3	+ 4	+ 4	+ 4	+ 4	+ 4	= 26
» di Calippo:	2	+ 2	+ 1	+ 1	+ 1			= 7
Somma:	5	+ 5	+ 5	+ 5	+ 5	+ 4	+ 4	= 33

(1) In questi schemi vediamo il Sole immediatamente posto dopo la Luna, e Venere prima di Mercurio. Infatti, esisteva in quei tempi grande incertezza intorno alla successione dovuta, la quale si spiega con ciò, che in realtà Mercurio e Venere circolano intorno al Sole, formando così con esso configurazioni diversissime.

(2) Metaphysicorum, l. 12, c. 7, tex. 45 e 46.

Digitized by Google

330. — **Aristotele**, introducendo nel sistema eudossiano così modificato l'idea dell'attività cosmica, diede alle sfere una vera entità fisica, e cercò di spiegare, come il moto delle singole sfere si propagasse dal Primo mobile fino all'ultimo, cioè dalla sfera delle stelle fisse fino a quella della Luna. Secondo la sua spiegazione Iddio, il Primo motore di tutto l'Universo, moveva immediatamente il primo mobile soltanto, ossia la sfera del firmamento. Questo moto poi si comunicava fisicamente (per una specie di attrito) e successivamente dalla sfera suprema alle singole sfere inferiori. Il deviamento di una sfera qualunque dalla direzione del moto della sfera superiore richiedeva un nuovo motore subordinato (un'intelligenza motrice), capace di imprimere questa deviazione dovuta, alla sfera che governava.

Siccome però il moto diurno della sfera suprema è comune a tutte le sfere, Aristotele, per spiegare la comunicazione di questo moto a tutti i pianeti, si vide costretto ad introdurre tra le sfere di Calippo (chiamate sfere deferenti) certe sfere reagenti, le quali dovevano annullare i moti speciali delle sfere di un pianeta superiore, per comunicare alle sfere del pianeta inferiore il solo moto del Primo mobile.(1)

Così le sfere planetarie crebbero fino al numero di cinquantacinque, che si raggruppano secondo lo **Schema Aristotelico** in questo modo:

	☽	☿	♀	☉	♂	♃	♄
Sfere deferenti di Eudosso e Calippo:	5	5	5	5	5	4	4 = 33
Sfere reagenti di Aristotile:	0	4	4	4	4	3	3 = 22
Somma:	5	9	9	9	9	7	7 = 55

(1) Per spiegare la cosa con un esempio: consideriamo un viaggiatore a bordo di una nave, il quale va incontro ad un amico, a cui stende la mano, salutandolo amichevolmente. Qui possiamo distinguere quattro moti: primo, quello della nave sul mare; secondo, quello dell'uomo che si trasporta sulla stessa nave da una parte all'altra; terzo, quello del braccio che stendesi verso l'amico, e finalmente il moto della mano che scuote quella dell'amico.

Il moto reale della mano nello spazio sarà assai complicato, cioè sarà il risultato dei vari moti componenti; per renderlo di nuovo semplicemente uguale a quello della nave, bisognerebbe distruggere tutte le altre mosse, cioè quella della mano, quella del braccio, quella dei passi fatti.

Digitized by Google

La Luna non avea bisogno di sfere reagenti, non trovandosi nell'interno delle sfere lunari altra sfera da muoversi; tutti gli altri pianeti, per la reazione delle singole sfere (eccettuato sempre quella che seguiva il moto del firmamento), esigevano un numero uguale a quello delle sfere deferenti, diminuito di una.

La figura 189 illustra la cosa per le sfere di Saturno mostrando come il moto del primo mobile si comunica inalterato alla prima sfera di Giove.

331. — Alterato così il concetto puramente matematico e geometrico di Eudosso e Calippo, si avea un *sistema fisico*

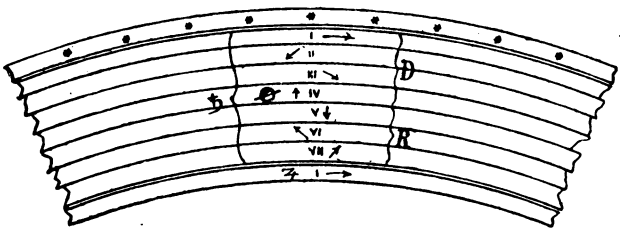


Fig. 189.

di sfere reali e conseguentemente *materiali*,[1] delle quali ciascuna superiore con contiguità, cioè senza intervallo (vuoto), racchiudeva la seguente inferiore. La materialità stessa non sarebbe per sè cosa tanto straordinaria, essendochè anche l'etere, che tutti gli astronomi dei nostri giorni ammettono, non soltanto nello spazio interplanetario, ma in tutto l'universo stellare, è una cosa fisica e materiale. Chi riflette però, che l'uffizio principale di queste sfere era, di portare i pianeti, di preservarli dalla caduta verso il comune centro di attrazione in mezzo alla Terra, non potrà negare, che Aristotele ed i suoi seguaci (in questa materia, secondo l'autore stesso ancora poco accertata) pensavano a *sfere solide*, di materia compatta e resistente, ma allo stesso tempo trasparente a foggia

(1) « Unaquaeque autem sphaera corpus existit », dice espressamente Aristotele (De coelo, l. II, tex. 7).

Digitized by Google

di cristallo. Ecco la vera origine delle Sfere cristalline,[1] colle loro due superficie sferiche: una esterna e convessa, l'altra interna e concava.

Nell'interno della sfera lunare trovavansi gli Elementi terrestri; la sfera del *fuoco*, poi quella dell'*aria*, poi quella dell'*acqua*, appoggiata sulla *terra* ossia *sul Globo terrestre*, il quale occupava così il vero centro dell'Universo.

I filosofi del medio evo, adottando generalmente questo sistema, distinguevano quindi un triplice mondo: *sublunare*, *celeste* ed *angelico*, dei quali il terzo, chiamato anche *empireo*,[2] al disopra delle stelle fisse, era la dimora degli angeli e delle anime beate.

332. — Sarebbe inutile di entrare qui in una discussione sui meriti di questo sistema; l'esposizione storica era necessaria, per facilitare l'interpretazione dei moltissimi autori che ne parlano.[3] Avendo la sua origine da idee più o meno fondate nella esperienza, essendo poi assai plausibile e di facile intendimento, rispecchiando con discreta approssimazione le apparenze esterne dei moti celesti, e di più adattandosi facilmente anche a certe espressioni della S. Scrittura, esso fu tenuto in onore, seppure non esclusivamente, quasi per tutto il medio evo, specialmente da scrittori che non erano astronomi di professione, i quali, contentandosi di un'Astromeccanica così facile, non erano in grado di poter ponderare le difficoltà serie, che coll'andare del tempo, come vedremo nei capitoli seguenti, andarono accumulandosi contro di esso.

L'ultimo sostenitore del sistema delle sfere omocentriche

(1) «Secundum Aristotelem stellae fixae sunt in orbibus e non moventur nisi motu orbium». S. Thom. Sum. theol. I, q. 70, a. 1 ad 3.

Del resto sarebbe falsissimo il credere, che Aristotele abbia chiusi gli occhi all'esperienza e costruiti i suoi sistemi quasi *a priori*. Dice egli espressamente in una cosa simile: «I fatti non sono ancora abbastanza accertati, se mai lo saranno, allora dovremo fidarci più dell'esperienza che non della speculazione; quest'ultima merita soltanto la nostra fiducia, in quanto va d'accordo colla sperienza» (De gen. animalium, III, 10).

(2) Ἐμπύριος, cioè tutto luminoso. Altre divisioni vedi presso S. Tommaso in lib. II, sent. dist. 14, a. 4.

(3) Una tale discussione, chi la desiderasse, la trova con tutta la competenza ed equità fatta dall'illustre astronomo (milanese) G. V. Schiaparelli, op. cit.

Digitized by Google

fu il dotto Veronese Girolamo Fracastoro, il quale in un libro pubblicato in Venezia nel 1535 [*Homocentricorum seu de Stellis liber unus*], fece un ultimo tentativo per eliminare le difficoltà insorte fin d'allora. Per farlo con qualche apparenza ebbe bisogno di aggiungere molte nuove sfere a quelle stabilite anticamente, cosicchè il numero totale oramai salì a settantasette ovvero *settantanove!* « Chi vuol perdere il tempo, dice brevemente il P. Riccioli, studi questo libro ». (1)

Art. III. — Sistema della Scuola Pitagorica.

333. — **Pitagora** che fiorì nel secolo VI av. Cr. (probabilmente tra il 570 ed il 470), nativo di Samos, avendo emigrato nell'Italia inferiore (« Magna Graecia »), fondò ivi nella città di « *Croton* » (Cotrone) una nuova scuola filosofica. Siccome egli stesso non lasciò niente in iscritto, anzi impose una legge ai suoi discepoli di tenere segreta la sua dottrina, non è cosa facile di formarsi un concetto chiaro delle sue dottrine. È però cosa certa, che egli coltivò principalmente le scienze matematiche; che propagò delle idee nuove ed indipendenti sulla struttura dell'universo, fondato sull'armonia dei numeri.

Secondo **Filolao**, suo discepolo, ed interprete delle sue dottrine, i corpi celesti erano dieci in numero; poichè la somma $1 + 2 + 3 + 4 = 10$ era cosa sacra (τετρακτύς o *quaternità*). Ammettendo la sfericità della Terra colla scuola accademica, si allontanò da questa scuola in altri punti fondamentali, e primieramente in ciò, che nel suo sistema la Terra non era più considerata come un globo centrale ed immobile in mezzo ai pianeti, ma piuttosto come un astro, un pianeta somigliante agli altri, dotato di duplice moto di rotazione e di traslazione; di rotazione intorno ad un asse proprio, passante pei due poli, artico ed antartico; di traslazione intorno ad un **Fuoco centrale** F (Fig. 190), principio dell'attività cosmica, situato nel centro dell'Universo. (2)

(1) Cf. « Almagestum novum ». Tomi I, pars posterior, p. 284 e 286.

(2) Chiamato anche *Vesta*, sacro focolare, il carcere di Giove, ecc. *Vestae* nomen (dice Cicerone), sumptum est a Graecis, ea enim est quae illis Ἑστία dicitur, visque eius ad aras et focos pertinet. Gli Accademici

Digitized by Google

334. — Oltre la Terra nostra (χθών) T, girante intorno al fuoco centrale F, egli ammise una seconda Terra A, che chiamò Anti-Terra (ἀντίχθων), collocata fra la Terra ed il fuoco centrale, intorno al quale girava come la Terra nello stesso tempo di 24 ore. Così l'antico numero settenario dei pianeti coll'addizione di F, A e T era diventato decennario, rappresentante la suddetta sacra quaternità. La simpatia per questo numero (secondo Aristotile) sarebbe stato il motivo principale, pei Pitagorici, di introdurre l'Antiterra ed il fuoco centrale. Certe osservazioni però, perchè per esempio il numero delle eclissi lunari fosse maggiore di quelle del Sole, sembravano più facilmente spiegabili in questo modo: perchè allora non solamente l'interposizione della Terra T, ma anche dell'Antiterra A, tra la Luna L ed il Sole S ovvero S', dovevano produrre delle eclissi lunari.

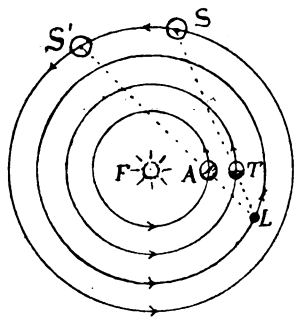


Fig. 190.

L'orbita circolare della Terra intorno al fuoco centrale F era così piccola, relativamente alle orbite della Luna e del Sole che non produceva parallasse sensibile nella posizione di questi; inoltre la rotazione era sincrona colla rivoluzione, cioè la Terra rimaneva sempre, colla stessa parte avversa ed incognita, voltata verso l'Antiterra ed il fuoco centrale, che restavano quindi invisibili agli abitanti terrestri, come rimanevano pure inosservate le eclissi solari, cagionate dall' Antiterra. L'idea del fuoco centrale poteva parere confermata dal crescere del calore verso l'interno della Terra.

335. — Qui abbiamo un primo tentativo per spiegare il succedersi del giorno e della notte, per un moto reale, non di tutto il cielo stellato insieme con tutto il sistema planetario, ma della Terra sola: passo importante verso la verità. Del resto ognuno vede, che il Sistema Pitagorico

che volevano la Terra nel centro dell' universo, trasportarono anche a questa il nome di *Vesta*, donde canta Ovidio, Fast. VI, 299:

Stat vi Terra sua, vi stando Vesta vocatur.

Digitized by Google

avea molto del problematico ed era tutt'altra cosa che il sistema, quasi un millennio più tardi, spiegato da Copernico.

Coll'andare del tempo le idee dell'Antiterra e del fuoco centrale dovettero essere modificate. I viaggi fatti oltre l'equatore terrestre, e quasi fino agli antipodi, mostrarono la non-esistenza di quella Terra; il fuoco centrale, per essere conservato, dovette ritirarsi nell'interno della Terra stessa, e l'Antiterra non fu più altro, che l'emisferio degli antipodi. Così il rimanente contrasto principale tra il sistema delle sfere omocentriche ed il pitagorico consisteva in ciò, che questo voleva una Terra rotante per un principio motore interno, ed un cielo quiescente; quello invece un cielo, girante per un principio motore esterno, con una Terra ferma nel centro.

Per rendere la conciliazione più completa tra l'uno e l'altro sistema, i **Neo-pitagorici** trasportarono il fuoco nella sfera sublunare. Il sistema pitagorico così modificato diventava di nuovo un sistema perfettamente geocentrico ed omocentrico, nel quale ciascun pianeta avea la sua sfera girante, che lo trasportava nell'orbita sua, senza però eseguire un giro intero in ventiquattro ore.

Corollario. — L'armonia delle Sfere.

336. — Pitagora sembra essere stato il primo a scoprire la legge, che esiste tra la consonanza di certi toni e la lunghezza delle corde che la producono. Applicando questa bella scoperta ai corpi celesti credette, come attesta Plinio, d'aver trovato la chiave, per determinare (per la prima volta) la loro relativa distanza dalla Terra come segue:

♄	—	☽	—	☿	—	♀	—	⊕	—	♂	—	♃	—	♄	—	*
1		1		½		½		1½		½		½		1½		

cioè, prendendo come unità la distanza della Luna dalla Terra, questa corrisponderà alla lunghezza di una corda che produce un tono intero, come pure quella di Mercurio dalla Luna; tra ☿ e ♀, tra ♀ e ⊕, ♂ e ♃, ♃ e ♄ troviamo ogni volta un mezzo tono; mentre poi tra il ⊕ e ♂ come tra ♄ e la sfera delle stelle 1 ½ tono.

Digitized by Google

In questo modo, quei sette toni coi loro intervalli costituirebbero una vera *Armonia dell' Universo* (ὅτι πασῶν ἁρμονίαν), una cantata del mondo, nella quale ciascun pianeta col giro della sua sfera produce il suo suono armonioso: « iucunda magis (aggiunge Plinio) quam necessaria subtilitate ».[1] Che le sfere celesti, essendo materiali o solide, poste in contatto l'una all'altra, pel loro attrito producessero un suono, non pareva cosa tanto strana; ma come è, oppose Aristotele, impugnando la dottrina di Pitagora, che noi non sentiamo niente di questi suoni, di questo concerto celeste? Perchè, replicavano i seguaci di Pitagora, perchè lo sentiamo sempre; l'abbiamo sentito dalla nostra nascita, e siccome « ab assuetis non fit passio », per la consuetudine, di sentire continuamente questa musica celeste, essa non fa più impressione, noi abbiamo perduto la coscienza di sentirla. Cotale risposta, ripetuta da varii autori del medio evo, trovò serii avversarii nella scuola aristotelica. Se le sfere celesti, dice S. Tommaso, cagionassero dei suoni, questi dovrebbero essere così forti, che le cose quaggiù ne soffrirebbero, stante che un tuono fragoroso non soltanto distrugge l'organo dell'udito, ma spacca perfino pietre e roccie. È vero, continua egli, che la consuetudine fa sì, che non badiamo più ad uno strepito continuo, come sarebbe il martellare di un fabbro; ma se non lo sentiamo più affatto, egli è segno, che il nostro orecchio ha perduto la facoltà di udirlo: cosa che non può dirsi nel caso nostro.

Tutta la teoria dell'armonia delle sfere, conclude il s. dottore con tanti altri scrittori serii, non ha quindi altro significato, che quello metaforico, indicato già dalla S. Scrittura, la quale dice, che *i cieli cantano la gloria di Dio;* cioè la bellezza dei cieli, il loro splendore, l'ordine ammirabile che regna lassù, inculca all'uomo con linguaggio mistico, ma efficace, la grandezza del Creatore.

Tuttavia l'idea poetica dell'armonia delle sfere, una volta stabilita e raccomandata da dotti scienziati, continuò fino ai nostri giorni a vivere nelle tradizioni letterarie (Dante, Göthe, Shakespeare, Rousseau) ne hanno tratto profitto nelle loro composizioni. Keplero finalmente, studiando di nuovo la questione

(1) Hist. nat. l. 2, c. 22.

Digitized by Google

dal lato astrometrico ed astromeccanico, scoprì colla sua « terza legge » la vera armonia delle orbite planetarie, pubblicata nell'opera, alla quale diede il titolo: *Harmonices mundi libri quinque*; ma di questo tratteremo più sotto.(1)

Art. IV. — Sistema di Eraclide Pontico ed Aristarco di Samo.

337. — Un passo decisivo nel progresso dai sistemi geocentrici ad un sistema (almeno in parte) eliocentrico, fece un filosofo di Eraclea nella provincia del Ponto, noto soltanto sotto il nome di **Eraclide Pontico** (Ἡρακλείδης ὁ Ποντικός), il quale fiorì circa la metà del IV secolo (av. Cr.). Da alcuni frammenti de' suoi scritti (perduti) sappiamo, che egli considerava i pianeti come altrettanti globi sospesi nell'etere, anzi come altrettante Terre, circondate da un'atmosfera. Spiegava il moto apparente diurno della Sfera celeste colla semplice rotazione della Terra intorno ad un asse proprio. Di più il Sole era il centro dei movimenti circolari dei pianeti **Mercurio** e **Venere**: cioè, mentre il Sole S (Fig. 191) gira intorno alla Terra T nello spazio di un anno, egli porta seco questi due pianeti M e V, i quali sono costretti di accompagnarlo, girando però allo stesso tempo intorno all'astro del giorno: Mercurio (☿) in un circolo più piccolo di quello di Venere (♀), ed in un tempo più breve di quello impiegato dal suo compagno.(2)

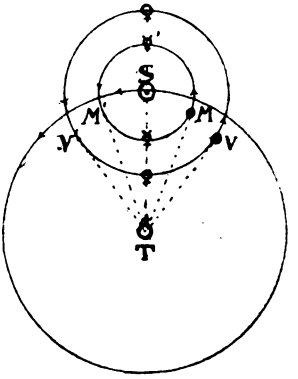


Fig. 191.

(1) Un' esposizione più ampia di questa materia con citazioni di molti autori antichi, medioevali e moderni trovasi in un articolo da noi pubblicato nelle « *Stimmen aus Maria Laach* ». Freiburg, 1901: « Die Harmonie der Sphären ».

(2) Molti scrittori ingannati da un passo di Macrobio (sec. V av. Cr.) [*Commentarius in somnium Scipionis*, I, 19] hanno dato erroneamente a questo sistema il nome di *Sistema egiziano*, come mostra Schiaparelli l. c. p. 27 e Documento XXXVI.

Digitized by Google

Con questo **moto eliocentrico** di quei due pianeti restò spiegata una serie di fenomeni, considerati fin allora come altrettanti enimmi. Era spiegata la grande variazione di luminosità di quegli astri, i quali (☿ e ♀), trovandosi in maggiore vicinanza alla Terra al di qua del Sole, dovevano apparire più splendenti che non trovandosi (☿′ e ♀′) al di là del medesimo. Era spiegato il fatto, che l'elongazione dei medesimi ora (M, V) verso Ovest, ora (M′, V′) verso Est, non poteva oltrepassare certi limiti. Era spiegata l'indecisione degli antichi, i quali non conoscevano l'ordine da tenersi nell'enumerazione dei medesimi rispetto al Sole (n. 328), poichè girando in periodi diversi intorno al Sole, erano possibili in varii tempi varie configurazioni: cioè ☿☿◍, ◍☿♀, ☿◍♀, ♀◍☿. Era spiegata finalmente l'apparente accelerazione del moto, quando i pianeti si trovavano presso la loro congiunzione inferiore (☿ e ♀), l'apparente ritardo presso la congiunzione superiore (☿′ e ♀′); anzi la retrogradazione (da V′ verso V e da M′ verso M) e le stazioni (in V, V′, M, M′) sembravano cose del tutto naturali.

338. — Eraclide (il quale si meritò da' suoi contemporanei il nome di παραδοξόλογος, cioè di un uomo che proferiva cose nuove e meravigliose), vide inoltre la possibilità di spiegare il moto annuo del Sole come una mera apparenza, e di ascrivere invece alla Terra una vera traslazione intorno al Sole: *Supponendo la Terra mobile*, dice egli, *e lasciando fisso il Sole, si possono spiegare le apparenze che riguardano il Sole.*(1)

Infatti, supponiamo che in un tempo t (due mesi circa) il Sole S (Fig. 192), circolando intorno alla Terra T, abbia percorso circa 60° in longitudine, sia per esempio passato dal segno ♈ in quello ♊; allora considerando S come fisso, ed attribuendo il moto di traslazione invece a T, questo si sarebbe trasportato da T in T′; il Sole, che appariva primo in ♈,

(1) Ἔλεγεν ὅτι καὶ κινουμένης πῶς τῆς γῆς, τοῦ δ'ἡλίου μένοντος πῶς, δύναται ἡ περὶ τὸν ἥλιον φαινομένη ἀνωμαλία σώζεσθαι. Sfortunatamente si conoscono quelle parole di Eraclide soltanto da un citato di Simplicio, celebre commentatore di Aristotele, essendo perdute le opere del Pontico.

Digitized by Google

ora apparirebbe in Ⅱ′, il segno ♈ si vedrebbe invece nella direzione T′ ♈′; sarebbe ∢ ♈′ T′ S = ∢ ♈ T S′.

Siccome poi i segni dello Zodiaco (come le stelle fisse) trovansi a distanza quasi infinita, le direzioni T ♈ e T′ ♈′ come T Ⅱ e T′ Ⅱ′ sono parallele; le apparenze sono quindi le stesse nell'uno e nell'altro caso.

339. — Di più, le apparenze saranno le stesse non soltanto rispetto al sistema Terra-Sole, ma pure in un sistema più complicato, nel quale il Sole formi il centro di altri moti planetarii come di quelli di Mercurio e Venere. Sia per esempio un tal pianeta in C in congiunzione inferiore col Sole S, mentre la Terra sta in T. Se il pianeta (trasportato col Sole) fosse senza moto proprio, alla fine del tempo *t* apparirebbe in C′, trovandosi il Sole in S′, essendo S′C′ ∥ SC. Se invece il pianeta ha un moto proprio, intorno al Sole, per il quale (supponendo il Sole fisso in S) si trasferirebbe nel tempo *t* da C in V, anche durante la traslazione del Sole da S in S′, farà lo stesso giro relativo (C′V′); esso apparirà in V′, purchè sia S′V′ ∥ SV. È però evidente che la posizione relativa (Sole, Terra, pianeta) sarà perfettamente la stessa, sia che si concepisca il Sole trasportato da S in S′, sia che si consideri la Terra passata da T in T′, essendo perfettamente uguali i due triangoli T S′ V′ e T′ S V.

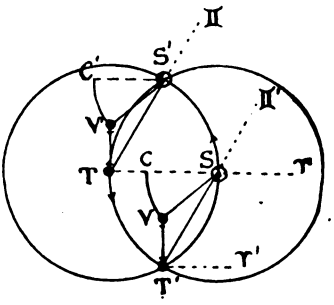


Fig. 192.

Così, e non altrimenti, si capisce il significato delle parole sovracitate di Eraclide Pontico (num. 338); anzi pare che queste debbano riferirsi non solamente al sistema eliocentrico di Mercurio e Venere, ma eziandio (come lo mostra l'applicazione già fatta da Appollonio di Perga nel secolo III av. Cr.), a quello dei pianeti Marte, Giove e Saturno.

340. — Se l'apparente variazione dello splendore di Venere (e Mercurio) era spiegata dall'avvicinarsi del pianeta alla Terra (nel giro intorno al Sole), allora era cosa facile il sospettare una ragione somigliante nelle vicende della luminosità del

Digitized by Google

pianeta **Marte**. È vero che questo pianeta arriva sempre al suo massimo di splendore al tempo della sua opposizione col Sole, mentre quello di Venere e Mercurio suole accadere presso la loro congiunzione (inferiore) coll' astro del giorno. Ma la causa di questo fenomeno trovasi in ciò (Fig. 193), che l'orbita di Marte M A è più ampia di quella della Terra T T'.

Quindi Marte al tempo della sua opposizione (in M), trovandosi la Terra in T, il Sole in S, sta molto più vicino alla Terra, che in qualunque altro punto (A) dell'orbita sua.

Del resto il ragionamento, fatto di sopra rispetto ai pianeti Mercurio e Venere, vale qui nello stesso modo: cioè le

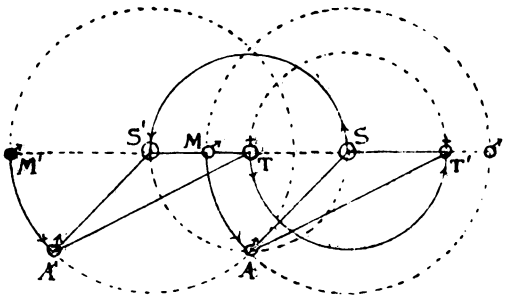


Fig. 193.

apparenze saranno le medesime, tanto in un sistema eliocentrico (nel quale T ed M girano intorno ad S), quanto in un sistema geocentrico (nel quale S con M girano intorno a T).

Supponiamo, per esempio, che in un tempo determinato t ($\frac{1}{2}$ anno) la Terra passi da T in T', Marte da M in A. I tre corpi ☉ ♁ ♂ formeranno allora alla fine di t il triangolo T'AS; nell'altro sistema il Sole nel tempo t passerebbe da S in S', portando seco l'orbita di Marte; il pianeta senza moto proprio sarebbe quindi trasportato da M in M', a cagione del moto proprio invece si troverà alla fine di t in A', essendo l'arco M'A' = M A. Ma anche qui il triangolo T A'S' è perfettamente uguale al triangolo T'AS; cioè la posizione relativa apparente è assolutamente la stessa.

Se è vera l'interpretazione data alle poche parole lasciateci da Eraclide Pontico, egli dovrebbe essere considerato come il vero inventore del sistema ricostruito, quasi duemila anni più

Digitized by Google

tardi, dall'astronomo danese Tycho Brahe, e quindi ordinariamente chiamato **Sistema ticonico.**

In questo sistema (Fig. 194) si considera la Terra (♁) immobile nel centro dell' universo; il Sole (☉) mentre compie annualmente una rivoluzione intorno ad essa, conduce seco tutto il resto dei pianeti (eccettuata la Luna), i quali compiono inoltre i loro giri intorno al Sole medesimo.

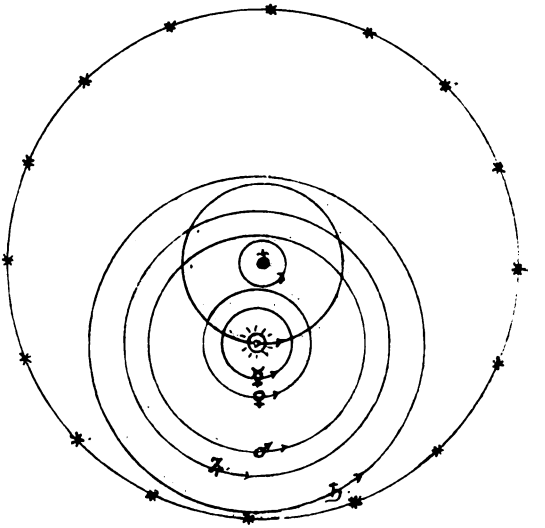


Fig. 194.

Un tal sistema al tempo di Eraclide Pontico poteva considerarsi come un insigne progresso, un precursore naturale del sistema eliocentrico assoluto; al tempo invece di Tycho Brahe, dopochè il canonico di Frauenburg avea già stabilito quest'ultimo, segnalava piuttosto un regresso.

341. — Le idee accennate da Eraclide Pontico furono un secolo più tardi più chiaramente espresse da **Aristarco di Samo.** Quanto apparisce dai pochi documenti conservati di questo insigne matematico, geometra ed astronomo,[1] egli

(1) Plutarco, Plac. phil. l. II, c. 24. Cf. SCHIAPARELLI l. c. Doc. XXVII-XLIII.

Digitized by Google

spiegava la deficiente parallasse delle stelle fisse per mezzo della distanza infinita di queste; il Sole (esso stesso una delle stelle fisse) formava il centro del sistema planetario; la Terra, ruotando intorno ad un asse proprio, produceva il moto apparente diurno della Sfera celeste; inoltre trasportandosi come gli altri pianeti intorno al Sole, produceva l'illusione del Sole moventesi annualmente lungo l'Eclittica; l'inclinazione finalmente dell'asse rotatorio terrestre poteva spiegare il cambiamento delle varie stagioni.

Qui vediamo abbozzato nettamente il sistema vero (copernicano), almeno nelle sue linee principali. Pare però, che le idee ardite di Eraclide ed Aristarco trovassero pochi aderenti. Anzi Aristarco fu accusato dallo stoico Cleanto di empietà, per avere distrutto il sacro focolare di Estia (il fuoco centrale), « unico e vero centro dell' universo »! Difatti vediamo tosto totalmente abbandonate, anzi dimenticate, queste belle idee dei due insigni rappresentanti dell'Astromeccanica antica. L'unico, del quale si sappia, che si mostrasse favorevole ad essi, è il matematico Seleuco, Caldeo di origine, che viveva nel II secolo a. Cr.

ART. V. — SISTEMA TOLEMAICO.

342. — La dottrina di una Terra, mobile nello spazio, sembrava troppo fantastica ai contemporanei e successori degli astronomi, enumerati nel capitolo precedente. Essa fu esplicitamente impugnata e confutata dalla scuola aristotelica,[1] e gli stessi seguaci di Pitagora (i cosidetti Neo-pitagorici) la consideravano come una speculazione fallita.

Era quindi necessario, di cercare un'altra via per la spiegazione dell' intricato sistema planetario, e questa fu trovata coll'introduzione dell'**Epiciclo** e dell'**Eccentrico.**

La circonferenza di un circolo O (Fig. 195) sia percorsa da un punto mobile in un tempo dato (t), con moto uniforme, prendendo nei successivi intervalli uguali le posizioni successive 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, o. Immaginiamo un secondo circolo, mobile insieme col suo centro K: cioè mentre questo con moto

(1) Degli argomenti ci occuperemo più sotto.

Digitized by Google

uniforme percorre la retta K, K′, occupando successivamente le posizioni I, II, III, IV, ecc., un punto della sua circonferenza si trasporti (sopra questa) con moto analogo a quello anzidetto del circolo O.

Allora il raggio (vettore) K o avrà successivamente delle posizioni I 1, II 2, III 3, IV 4, V 5, VI 6, VII 7, K′ o, le quali saranno rispettivamente parallele a quelle del circolo O, cioè O 1, O 2, O 3, ecc. Congiungendo i punti 1, 2, 3, ecc. (del circolo K) colla curva punteggiata, otteniamo una linea epicicloidale, la quale si rassomiglia assai a quella descritta apparentemente dai pianeti sulla sfera celeste; specialmente se l'occhio dell'osser-

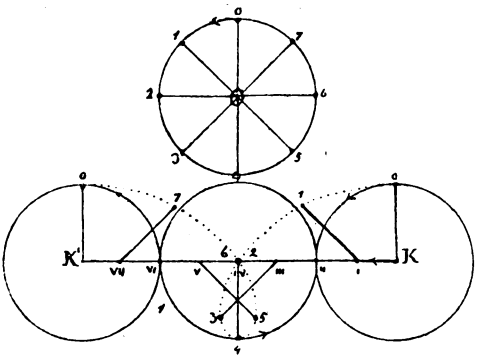


Fig. 195.

vatore, che osserva da lontano gli spostamenti del punto mobile nella direzione K o e K′ o, s'immagini collocato (più o meno) nel piano del disegno. Il movimento apparisce abbastanza veloce dal punto o verso 1 e 2; va rallentandosi verso 3, dove per breve tempo sembra stazionario. Nel punto 3 diventa retrogrado e lo rimane fino a 5, dove, dopo una seconda stazione, ripiglia il senso diretto, spostandosi il punto mobile sempre più rapidamente verso 7 e o.

Sostituendo alla retta K K′ un **Circolo deferente**, il centro dell'**Epiciclo** (circolo sovrapposto), scegliendo poi la relativa grandezza di questo, secondo le esigenze del caso, e moderando i moti (uniformi) del medesimo centro e del punto mobile, si potranno rappresentare con grande approssimazione le apparenze dei moti planetari, ritenendo ancora i due

Digitized by Google

principii, sanzionati dall'antichità, che i moti siano perfettamente circolari ed uniformi, e che il centro principale dei movimenti sia il centro della Terra immobile, considerata come il vero centro dell'universo!

343. — Si sapeva, per esempio, che **il pianeta Giove** impiega circa dodici anni, a percorrere tutta l'eclittica, e che in

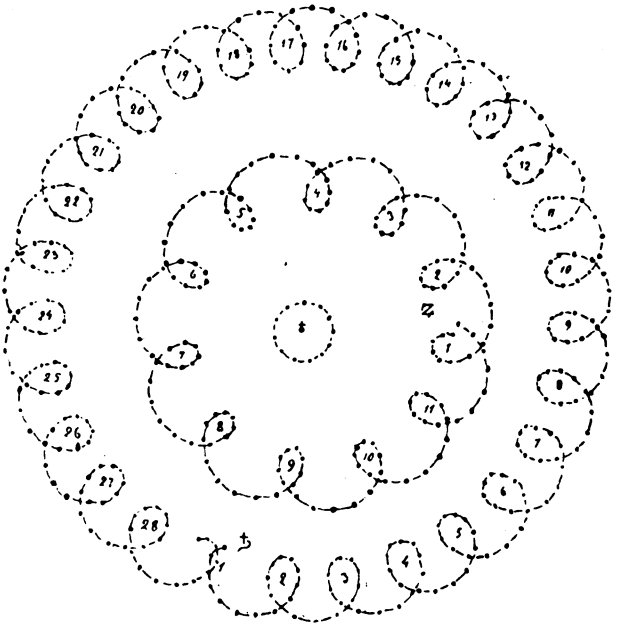


Fig. 196.

questo tempo ogni anno, o meglio ad ogni nuova opposizione col Sole, osservavasi una retrogradazione; ora per rappresentare queste apparenze, sembrava bastasse, dare al centro del suo Epiciclo sul Deferente un periodo di circolazione di dodici anni (corrispondente alla rivoluzione siderale del pianeta); all'epiciclo invece dovrà darsi un periodo di un anno, ossia di una rivoluzione sinodica (da una opposizione all'altra). (1) Di più, per rappresentare fedelmente le apparenze,

(1) *Rivoluzione sinodica* (σύν-οδος = congresso) chiamasi il periodo che corre tra due identiche costellazioni di un pianeta col Sole e la Terra, per es. tra due opposizioni.

Digitized by Google

il moto del raggio vettore dell'epiciclo era così regolato, che riusciva sempre parallelo al raggio vettore del Sole intorno alla Terra. (1) Conseguentemente, quando il pianeta trovasi annualmente nella sua massima vicinanza alla Terra, il Sole sta dalla parte opposta della Terra, il pianeta con moto retrogrado trovasi in opposizione.

Proiettando l'orbita apparente planetaria (epicicloidale) sul piano dell'eclittica, si ottiene una figura somigliante alla fig. 196, nella quale vediamo la Terra (♁) nel mezzo, circondata dall'orbita solare (apparente) colla posizione del Sole indicata pei singoli mesi dell'anno. Le due curve epicicloidali rappresentano le orbite apparenti di Giove (♃) e Saturno (♄).

Simili curve potrebbero costruirsi per tutti i pianeti. Quello poi, che avrebbe dovuto eccitare nei tempi passati l'attenzione degli ammiratori del sistema epicicloidale, era la strana dipendenza dal Sole, che accennava abbastanza, tutti questi giri e raggiri non essere altro che mere apparenze, prodotte dal moto reale della Terra intorno al Sole.

344. — L'orbita solare, senza stazioni e regressi, apparentemente non avea bisogno di un epiciclo; però, come osservarono già Ipparco e (probabilmente prima di lui) i Caldei, (2) il moto del Sole nell'eclittica, non rappresentando un'apparenza uniforme, richiedeva una nuova spiegazione, se non si voleva rinunziare al canone antico del moto uniforme.

La soluzione del problema fu trovata coll'introduzione dell'**Eccentrico** (Fig. 197). Se il Sole si movesse sopra la circonferenza di un circolo, concentrico alla Terra T, con moto uniforme, il numero dei giorni trascorsi tra i suoi appulsi ai segni ♈, ♋, ♎ ♑ dovrebbe essere lo stesso; in altre parole, le quattro stagioni (primavera, estate, autunno, inverno) avrebbero perfettamente la stessa durata. Invece, come osservò Ipparco [sec. II a. Cr., precursore di Tolomeo nella celebre scuola alessandrina], la primavera durava giorni 94½, l'estate 92½, l'autunno 88 soltanto, l'inverno 90.

Per spiegare questa disuguaglianza, senza togliere al Sole

(1) Difatti l'Epiciclo, come vedremo, non era altro che l'orbita terrestre rispecchiata dal moto apparente del pianeta.

(2) Vedi num. 322.

Digitized by Google

il suo *moto* (creduto in realtà) *uniforme*, Ipparco trovò lo spediente, di collocare il centro del moto solare fuori della Terra T in C, cioè circa $\frac{1}{24}$ del raggio dell'orbita, verso A (grado 66 di longitudine). Allora il Sole, per passare da S′ in S″, da S″ in S‴, da S‴ in S^{IV} e da S^{IV} in S′, benchè si sposti con moto uniforme sulla circonferenza dell'orbita sua circolare, impiega quei numeri di giorni assegnati dall'esperienza. Soluzione certamente ingegnosa, fondata però sopra quel (falso) supposto, che il moto dovea essere veramente uniforme.

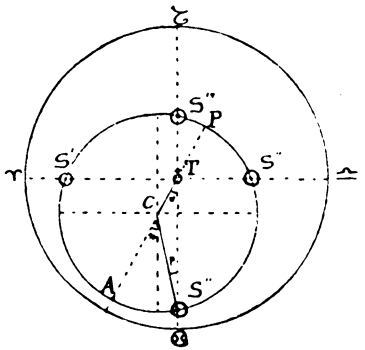


Fig. 197.

345. Coll'introduzione dell'Eccentrico fu introdotta una serie di termini tecnici, che sono rimasti fin ad oggi, i quali perciò meritano qui una speciale menzione. Il punto P dell'orbita (solare o planetaria) più vicino alla Terra fu chiamato il **Perigeo** (Περίγειον), il punto più lontano (A) l'**Apogeo**, la linea A P, passante per il centro C e la Terra T, chiamavasi la **linea degli Absidi**. Conoscendo il tempo periodico di una rivoluzione intera del Sole, era facile (sempre nella supposizione di un moto uniforme) di conoscere l'arco percorso, per esempio AS″, in un certo tempo t, ossia conoscere l'angolo ACS″ $= m$, che chiamavasi **Anomalia media**. Conoscendo poi l'eccentricità (lineare) CT, ossia il suo rapporto al raggio vettore CA $=$ CS″, il triangolo CTS″ era dato, e quindi pure l'angolo $\measuredangle$ CTS″ $= v$, chiamato **Anomalia vera**; perchè indicava veramente l'angolo percorso dal Sole relativamente ad un osservatore terrestre in T. Quest'angolo, che sembrava indicare una vera anomalia (ἀνωμαλία $=$ *irregolarità*) nel moto solare, pareva ridotto al suo vero significato. L'equazione $m - v = p = \measuredangle$ C S″ T indica la differenza delle due anomalie.(1)

(1) Il valore p chiamavasi *prostaferesi*, termine che sembra una contrazione delle due parole greche πρόσθεσις (addizione) ed ἀφαίρεσις (sottrazione), indicando p il valore (positivo o negativo), che dovea aggiungersi ad m per avere v.

Digitized by Google

346. — La teoria degli Epicicli, insieme con quella dell'Eccentrico, fu adottata da **Tolomeo** nel suo *Almagesto* (n. 17). Vedendo che anche nel moto progressivo dei pianeti, da un anno all'altro, vi era una (*prima*) ineguaglianza, simile a quella del Sole, adattò anche per essi un circolo eccentrico come Deferente. La seconda ineguaglianza, manifestantesi nelle stazioni e retrogradazioni, fu spiegata per mezzo dell'epiciclo.

L'eccentrico stesso equivale ad un epiciclo, e quindi l'andamento del Sole, divisato da Ipparco avrebbe potuto ugualmente esprimersi per mezzo d'un epiciclo.

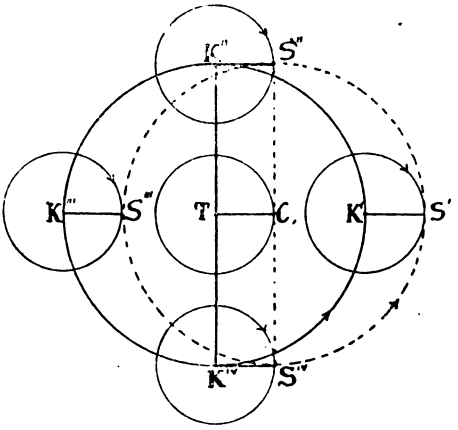


Fig. 198.

Consideriamo, per esempio (Fig. 198) due circoli uguali, uno (punteggiato) col centro C, l'altro col centro T. Il primo è eccentrico rispetto a T, essendo C T la sua eccentricità lineare. Ora se un punto S muovesi con moto uniforme sulla circonferenza del primo circolo, sarà facile di fare girare sulla circonferenza dell'altro un punto K in modo tale, che la linea K S rimanga sempre uguale e parallela a T C. K S può quindi considerarsi come il raggio vettore di un epiciclo, il centro (K) del quale muovesi con moto uniforme sul circolo (deferente) $K' K'' K''' K^{IV}$, mentre il punto S sulla periferia dell'epiciclo gira colla stessa velocità angolare, ma in senso con-

Digitized by Google

trario, intorno al centro K, cosicchè il raggio vettore K'S', K''S'', ecc. rimanga sempre parallelo alla sua posizione primitiva (K'S'), ossia parallelo a TC.

Da ciò si vede: 1° come l'epiciclo, posto sopra un circolo eccentrico, equivale in realtà ad un epiciclo di secondo ordine; 2° come col moltiplicare degli epicicli e coll'assegnare ai loro movimenti vari sensi di rotazione e vari periodi, si possono imitare moti svariatissimi.

Era appunto questo il modo, col quale Tolomeo ed i suoi successori cercarono di accomodare il loro sistema alle esigenze delle osservazioni, le quali col crescere della loro precisione, mostrarono sempre nuove divergenze colla teoria.

347. — Senza entrare qui in ulteriori dettagli, che prolungherebbero troppo questo capitolo, notiamo soltanto come, abbandonata la via indicata da Eraclide Pontico ed Aristarco, si perdette perfino la vera spiegazione del sistema eliocentrico di Mercurio e di Venere.

Supponiamo, per maggiore semplicità del problema, che i cinque pianeti principali ☿, ♀, ♂, ♃, ♄, compiano la loro rivoluzione con moto circolare ed uniforme intorno al Sole, e che quest'astro si trasporti col suo corteggio planetario con simile moto circolare ed uniforme intorno alla Terra. Avremo il sistema, ideato da Eraclide Pontico; ma avremo allo stesso tempo un **sistema epicicloidale**, nel quale l'orbita solare rappresenta il Deferente, le orbite planetarie saranno altrettanti Epicicli concentrici (reali), con raggi diversi, i quali corrispondono alla distanza media dei pianeti rispettivi dal Sole. Gli epicicli di Mercurio e Venere avranno un raggio minore di quello del Deferente; quelli di Marte, Giove e Saturno invece un raggio maggiore. Per questa ragione essi, considerando la Terra come centro principale, si rassomigliano piuttosto a Circoli eccentrici, però col centro ⊕ mobile, donde potrebbero chiamarsi **Eccentrici mobili.**

Spiegate le cose in questo modo, si era vicinissimi al sistema vero eliocentrico; bastava cambiare (come accennò già lo stesso Eraclide) il moto apparente, del Sole intorno alla Terra, in un moto reale, della Terra intorno al Sole. Con ciò spariva il Deferente, e rimasero soltanto circoli concentrici intorno al Sole! Sfortunatamente i moti planetari non sono, nè

Digitized by Google

perfettamente circolari, nè uniformi, e quindi una verifica delle varie supposizioni era difficile.

348. — Negli epicicli di Tolomeo tutte queste cose erano totalmente oscurate. Per intendere ciò, si noti in primo luogo che **cambiando Deferente ed Epiciclo** le apparenze rimangono pure le stesse.

Confrontiamo, per esempio, le due figure (Fig. 199 e 200), nella prima sia un Deferente intorno al centro C, che porti sulla sua periferia il centro K di un epiciclo, sul quale si muove il punto P. Mentre K percorre l'arco KA (ossia $\measuredangle$ KCA), P descriva intorno a K un angolo retto (YAX); allora il punto P

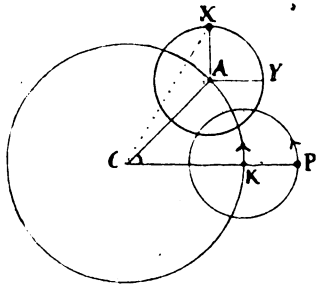


Fig. 199.

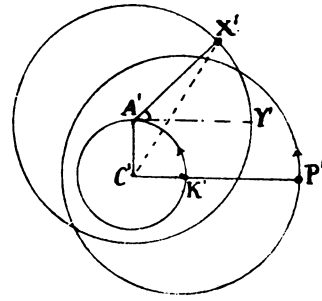


Fig. 200.

si troverà alla fine di questi moti in X; veduto da C, si sarà allontanato dalla sua posizione primitiva CP dell'angolo PCX.

Nella figura 200 vediamo un Deferente piccolo K'A' (uguale all'epiciclo di prima), il quale intorno a K' porta un epiciclo maggiore P' (uguale al Deferente di prima). Il punto P' stia nella direzione di K' (centro dell'epiciclo); sarà evidentemente C'P' = CP (Fig. 199). Ora mentre il punto K', percorrendo l'arco K'A' descrive un angolo retto K'C'A', il punto P' descriva sull'epiciclo un angolo Y'A'X' = KCA; saranno uguali i due triangoli C'A'X' e XAC, e quindi $\measuredangle$ P'C'X' = $\measuredangle$ PCX. Dunque anche in questa supposizione, lo spostamento angolare apparente del pianeta sarà lo stesso.[1]

(1) Se C' (Fig. 200) denota la Terra, K' ed A' il Sole, trasportato intorno alla medesima, X' il pianeta Marte, cambiando deferente ed epiciclo, il centro (cioè il Sole) visibile K' ed A' diventa un centro ideale

Digitized by Google

Tolomeo, adoperando sempre un Deferente di un raggio maggiore di quello dell'epiciclo, dovette nel caso di Marte, Giove e Saturno, prendere come Deferente non l'orbita apparente del Sole con un periodo annuo, ma l'orbita reale del pianeta intorno al Sole col periodo della rivoluzione siderale. Ecco la ragione della distinzione fatta nel suo sistema tra questi pianeti esterni (alla Terra) e quelli interni (☿ e ♀),

349. — Restava così mascherato il fatto, che il Sole era il vero centro dei moti planetari, almeno nel caso dei pianeti superiori; nel caso poi di *Venere* e *Mercurio*, dove questa cosa sembrava tanto chiara, si trovò pure un altro accomodamento, e con ciò le relative distanze dei pianeti, sia dal Sole, sia dalla Terra, diventarono pure una cosa del tutto indeterminabile e quasi arbitraria; purchè si conservasse il rapporto dato dall'osservazione, tra il deferente e l'epiciclo di ciascheduno.

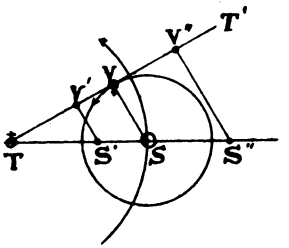


Fig. 201.

Consideriamo, per esempio (Figura 201), l'**orbita di Venere** V intorno al Sole S, veduta dalla Terra T; sia $SV \perp TV$, cioè TT' tangente all'orbita (epicicloidale) del pianeta; se per due punti arbitrarii S' ed S'', di qua e di là di S, facciamo S'V' ed S''V'' parallele ad SV, avremo

$$VS : TS = V'S' : TS' = V''S'' : TS''$$

quindi sostituendo al Deferente col raggio TS, un altro col raggio TS' o TS'', le apparenze delle distanze angolari del pianeta dal Sole rimangono le medesime, purchè all'epiciclo si dia un raggio corrispondente S'V' o S''V''. Si capisce così, come Tolomeo poteva mettere non solamente il centro dell'orbita epi-

ed invisibile in K ed A, però rimane sempre notevole, che il raggio vettore AX, del nuovo epiciclo, è sempre parallelo al raggio vettore C'A' del Sole (rispetto alla Terra), che avrebbe dovuto accennare a quei trasformatori di problemi, che con tutto ciò (come notò poi Copernico) non aveano fatto altro, che trasportare l'orbita solare (ossia terrestre) come epiciclo al pianeta.

Digitized by Google

cicloidale di Venere, ma tutta l'orbita, tra Sole e Terra, e come Mercurio, benchè si trovi in realtà coll'orbita sua nell'interno di quella di Venere, poteva col suo epiciclo venire collocato anche più vicino alla Terra, cioè tra questa e l'orbita di Venere. Ivi lo troviamo veramente nel sistema tolemaico, del quale la figura 202 dà una rappresentazione (schematica) al-

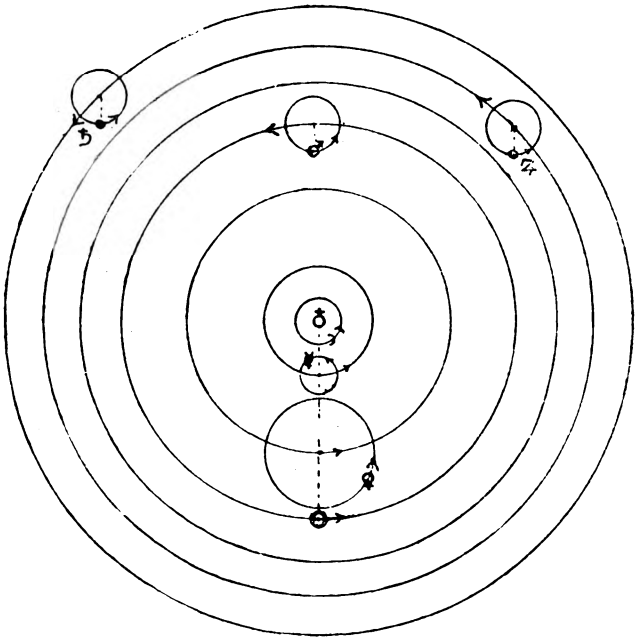


Fig. 202. Sistema tolemaico.

meno nelle sue linee fondamentali. Siccome poi il centro degli epicicli dei due pianeti rimaneva sempre sulla direzione del raggio vettore del Sole, e quindi il periodo dei detti centri era lo stesso con quello del Sole, così restava pure spiegato, perchè questi pianeti non possono mai venire in opposizione coll'astro del giorno.

350. — Il Sistema Tolemaico rimase in tranquillo possesso per tutto il medio evo, benchè non potesse mai soddisfare completamente alle esigenze delle osservazioni. La ragione principale di questo difetto si era, che i pianeti, come

Digitized by Google

scoprì più tardi Keplero, non descrivono circoli intorno al Sole, ma ellissi; procedono poi, non con moto uniforme, ma vario. Inoltre restavano da spiegarsi i movimenti in latitudine, dovuti alle diverse inclinazioni delle orbite planetarie all'eclittica (in parte spiegate da Tolomeo, col dare inoltre una inclinazione diversa ai piani dell'epiciclo e del deferente). Così Tolomeo stesso ed i suoi discepoli si videro costretti ad aggiungere continue correzioni con nuovi eccentrici ed epicicli. (1)

Quello che sembrava giustificato nel sistema, almeno in quei tempi, si era, che una Terra immobile nel centro dell' Universo, si adattava meglio all'impressione dei sensi; un tale concetto sembrava più in armonia colla filosofia aristotelica e col modo di parlare della stessa Sacra Scrittura, la quale nelle cose fisiche e naturali segue il linguaggio comune; poichè, come osserva già sant'Agostino, non era l'intento dello Spirito Santo di insegnarci queste cose. (2)

(1) Furono adottati eccentrici doppi, cioè oltre il circolo Deferente collocato eccentricamente intorno alla Terra, fu inventato un terzo Circolo ugualiante (*Circulus aequans*), dal centro del quale il moto (non più uniforme sul Deferente) appariva uniforme. Agli epicicli poi di primo ordine si aggiungevano altri di secondo o terz'ordine, anche con moto eccentrico e contrario a quello del principale.

« Vetus Astronomia », osserva giustamente Keplero, « hic infinitam epicyclorum, diametrorum et inclinationum, reflexionum, obliquationum supellectilem eamque intricatissimam et comprehensu difficillimam est commenta, neque tamen satisfecit observationibus ». Cf. Frisch. Kepl. Op. omn. VI, 450.

Lo stesso San Tommaso d'Aquino, che non era astronomo di professione, vedeva bene la possibilità di una spiegazione forse più plausibile del sistema planetario, che non era quella di Tolomeo, dicendo: « In astrologia ponitur ratio excentricorum et epicyclorum ex hoc, quod hac positione facta, possunt salvari apparentia sensibilia circa motus coelestes, non tamen ratio haec est sufficienter probans, quia etiam forte alia positione facta salvari possunt » (Summa theol. I, qu. 32, a. 1 ad 3).

(2) « Breviter dicendum ... Spiritum Dei noluisse ista docere homines nulli saluti profutura » (De Genesi ad litt. lib. 2, cap. 9, § 20).

Per la stessa ragione non si può parlare di un *Sistema planetario* della S. Scrittura. « Non legitur in Evangelio », dice lo stesso sant' Agostino, « Dominum dixisse: Mitto vobis Paraclitum qui doceat vos de cursu Solis et Lunae, Christianos enim volebat facere non mathematicos » (Contra Fel. Manich. c. 23). — « Moyses », dice san Tommaso, « rudi populo condescendens secutus est quae sensibiliter apparent » (Summa theol. qu. 70, a. 1 ad 3).

Digitized by Google

Non è quindi da meravigliarsi, se gli scrittori del medio evo, in massima parte ecclesiastici, i quali non si videro in grado di poter fare le osservazioni astronomiche, assolutamente necessarie, per verificare i difetti del sistema tolemaico, si contentarono di studiare e commentare (quanto era necessario allo scopo dei loro studi) l'*Almagesto* del grande astronomo alessandrino. Del resto era riservato ad un uomo di Chiesa, al grande Copernico, di fondare un sistema nuovo: il sistema vero planetario, che porta il suo nome.

Corollario. — Conciliazione delle Sfere omocentriche col sistema Tolemaico.

351. — La teoria delle Sfere omocentriche, specialmente delle Sfere materiali o solide, sembrerebbe per sè irreconciliabile col sistema tolemaico; Eccentrico ed Omocentrico, essendo termini contradditorii. Di più, la sfera dell'epiciclo avrebbe dovuto penetrare nell'interno della sfera del Deferente.

Tolomeo stesso non entrò affatto nella quistione della materia delle orbite stabilite, che per lui sono meri concetti matematici o linee geometriche; nondimeno alcuni scrittori posteriori fecero dei tentativi per conciliare la teoria delle sfere (anche materiali) con quella dei circoli tolemaici, immaginando, per esempio, una sfera solida di certa grossezza AB (Fig. 203) col centro in O, nell'interno della quale giri la sfera epicicloidale C.

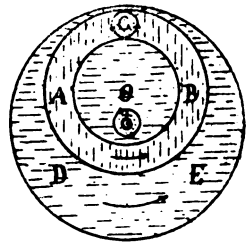


Fig. 203.

La sfera deferente AB sia eccentricamente collocata in una sfera più grande DE, concentrica alla Terra ♁, che trovasi nel mezzo. Così il sistema tolemaico poteva sembrare in un certo modo un perfezionamento del sistema delle sfere degli antichi, ed anche questa circostanza serviva al mantenimento del medesimo.

Digitized by Google

CAPITOLO III.

SISTEMA PLANETARIO MODERNO.

ART. I. — SISTEMA DI COPERNICO.

352. — Niccolò Copernico, canonico della chiesa cattedrale di Frauenburg (Ermland), è stato il fondatore del vero sistema planetario, e perciò deve essere considerato come il vero riformatore dell'Astromeccanica, anzi come il *fondatore dell'Astronomia moderna.*[1] Nato in Thorn, città della « Prussia occidentale » nel 1473, egli, appena giunto all'età di dieci anni, perdette il padre e la sua prima educazione scientifica fu interamente lasciata alle cure paterne di suo zio Luca Watzelrode, canonico di Frauenburg, il quale poi nel 1479 fu creato vescovo della diocesi e conseguentemente anche principe di quel principato di Warmia (Ermland). Finiti gli studii preparatorii in patria, il giovane Copernico, bramoso di abbracciare la carriera ecclesiastica, fece per quasi un decennio i suoi studii universitari nei celebri atenei di quel tempo, prima in Cracovia, poi in Bologna, Ferrara e Padova. Egli visitò Roma nell'anno santo 1500, dove, oltre al soddisfare alla sua devozione, fece delle lezioni pubbliche intorno a vari soggetti matematici ed astronomici.

Ritornato in Ermland (verso il 1505), prese possesso del suo canonicato in Frauenburg e si dedicò, quanto i suoi doveri lo permettevano, quasi interamente allo studio dell'Astronomia. Oltre la grande stima che portava verso questa regina delle scienze,[2] vi fu una ragione pratica, che lo animò in

(1) Sopra questo grande uomo e le vicende del suo Sistema abbiamo pubblicato un libro speciale sotto il titolo: « *Niccolò Copernico*, fondatore dell'astronomia moderna », in lingua tedesca presso Herder, Friburgo; una traduzione italiana (fatta dal P. Mezzetti S. J.), riveduta e aumentata dall'autore, fu pubblicata nel 1902 in Roma da Desclée, Lefebvre e C.

(2) « Qual cosa potrebbe essere più bella del cielo? », così egli scrive nella prefazione del suo celebre trattato *Revolutionum coelestium* ... « L'astronomia è la corona delle arti liberali. Le altre scienze servono a lei come ancelle alla loro regina; e perciò sopra tutte le altre cose l'astronomia

Digitized by Google

questo studio, cioè la questione della riforma del calendario, che da lungo tempo preoccupava la mente non soltanto di uomini dotti (Ruggero Bacone † 1294, Giovanni Sacrobosco, Giovanni di Sassonia), ma di vescovi e cardinali, di concilii provinciali ed ecumenici e degli stessi romani pontefici.

Già nel 1473 il papa Sisto IV aveva chiamato a Roma il celebre astronomo tedesco Giovanni Müller di Kunisperg (Franconia), meglio conosciuto sotto il nome latinizzato di Regiomontano.[1] Sventuratamente questo scienziato, appena arrivato, soccombette presto a malattia mortale.

353. — Copernico cercò da sè una soluzione del difficile problema, ma non contentandosi di una formola qualunque, che mettesse in accordo fra di loro l'anno ed i fenomeni celesti, volle andare al fondo della questione. Prese perciò la risoluzione di leggere tutti i libri di filosofia che gli fu possibile di procurarsi, per rintracciare se mai alcuno degli antichi filosofi avesse dato sui fenomeni celesti e specialmente sul grande sistema planetario un'altra spiegazione qualsiasi, differente da quella (tolemaica) allora universalmente adottata.[2] Di più egli stesso, per rimediare all'incertezza dei risultati delle osservazioni, tramandati dagli antichi, volle fare delle osservazioni astronomiche, ed a tale scopo costruì un *Triquetro* o *Strumento Parallattico* (n. 136), collocandolo sopra una delle torri, che come fortezze circondavano la cattedrale di Frauenburg.

Dopo molti anni di paziente e serio studio, egli osò dare, se non al pubblico, almeno ad alcuni dei suoi amici, un primo saggio dei risultati ottenuti, che in un **Compendio**[3] riassumeva in questo modo:

I. Le orbite e le sfere celesti non hanno un unico centro.

è degna di un uomo libero ... Se v' ha scienza atta a nobilitare l'uomo e a distaccarlo dalle frivolezze della terra, essa è l'astronomia ... per la quale ci sentiamo rapiti verso Colui che è causa di quest'ordine e fonte d'ogni bene ». Cf. Müller, Nic. Cop. pag. 51, 52.

(1) *Kunisperg* o *Koenigsberg* (patria del Müller) significa *Mons regius*, donde fu derivato il nome latino *De Monteregio* o *Regiomontanus*. Il sepolcro del Regiomontano trovasi nella chiesa del Pantheon.

(2) Per altri particolari vedi il nostro libro cit. p. 55 sgg.

(3) « Nicolai Copernici de hypothesibus motuum caelestium a se constitutis commentariolus ». Cf. Müller, l. c. cap. X.

Digitized by Google

II. Il centro della Terra non è il centro dell'universo, ma solamente il centro del peso e dell'orbita lunare.

III. Le orbite giacciono intorno al Sole, il quale perciò deve considerarsi come il centro del sistema mondiale.

IV. La distanza fra la Terra ed il Sole, paragonata con quella della Terra dalle stelle fisse, è una quantità piccolissima ed insensibile.

V. Il moto diurno della Sfera celeste è apparente, cioè un effetto del moto rotatorio della Terra intorno al suo asse.

VI. Noi ci moviamo insieme alla Luna intorno al Sole, i cui molteplici movimenti non sono altro che vari moti della Terra.

VII. I movimenti della Terra rendono ragione della retrogradazione e delle altre irregolarità dei moti planetari; basta quindi il solo moto della Terra per spiegare tutti gli altri movimenti osservati in cielo.

354. — Le prove di queste sue asserzioni, qui soltanto accennate, Copernico prometteva di dare più tardi in una pubblicazione più ampia. La fama del suo ardito sistema si sparse presto dappertutto. Lo stesso Sommo Pontefice Clemente VII nel 1533 volle assistere nei giardini vaticani ad una lettura fatta dal cancelliere Widmannstat sul nuovo sistema.

Nell'anno 1536 il cardinale Niccolò di Schönberg, O. P., arcivescovo di Capua, indirizzava a Copernico una lettera assai lusinghiera, incoraggiandolo a dare presto alla luce l'opera cominciata. Altrettanto fece il vescovo di Kulm, Tidemanno Giese. Superate varie difficoltà, la grande **Opera di Copernico** *De revolutionibus orbium coelestium libri sex*, preparata e maturata per ben cinque lustri, vide la luce in Norimberga nel 1543, anno della morte del suo autore. Copernico la dedicò al regnante Sommo Pontefice Paolo III con una lunga lettera dedicatoria,[1] nella quale egli espone con grande schiettezza come fosse stato indotto a concepire un sistema del mondo tanto diverso da quello che fin allora si proponeva in tutte le scuole; cita con grande coscienziosità i pochi luoghi, trovati presso alcuni autori antichi,[2] che sem-

(1) Ad sanctissimum Dominum Paulum III, Pontificem maximum, Nicolai Copernici praefatio in libros Revolutionum.

(2) Cicero, Quaest. acad. IV, 39. — Plutarch. Plac. phil. III, 13.

Digitized by Google

bravano favorevoli al suo intento, ed in fine aggiunge l'utilità che da questo suo lavoro, compiuto in 25 anni, potrebbe cavare la Chiesa per la riforma del calendario, desiderata da tanto tempo.

355. — Premesse queste poche nozioni storiche, vediamo ora i principali argomenti, coi quali Copernico sostenne il **suo Sistema eliocentrico**, del quale egli stesso (lib. I, cap. 10) ci dà una figura schematica (Fig. 204); diciamo schematica, perchè le distanze scambievoli (determinate nel suo sistema)

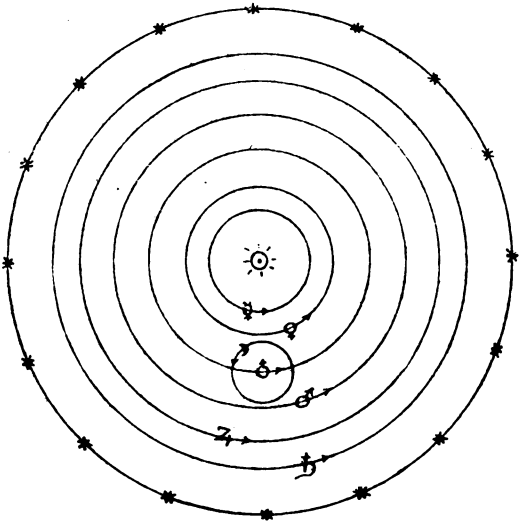


Fig. 204. Sistema copernicano.

tra i singoli pianeti sono trascurate, come pure non appariscono gli epicicli, ancora necessari, per spiegare il moto non perfettamente circolare ed uniforme dei singoli pianeti intorno al Sole.

Il punto principale del suo sistema furono i **vari movimenti dati alla Terra**: uno di rotazione diurna intorno ad un asse proprio; un secondo di traslazione intorno al Sole, per il quale la Terra divenne un pianeta come gli altri; la Luna invece perdette il posto di pianeta primario, diventando semplice compagna o pedissequa della Terra. Un terzo moto produceva il continuo parallelismo apparente dell'asse di rota-

Digitized by Google

zione della Terra nel suo annuo cammino intorno al Sole; un quarto finalmente, cioè un lentissimo spostamento conico del medesimo asse, spiegava il fenomeno, conosciuto sotto il nome della precessione degli equinozii.

356. — Per stabilire la sua tesi, Copernico vide bene che prima di tutto era necessario sciogliere **le difficoltà,** fino allora mosse contro un sistema eliocentrico, e specialmente contro i primi due moti della Terra.(1)

Se la Terra, dicea Tolomeo, girasse intorno al suo asse, in ventiquattro ore, gli oggetti mobili alla sua superficie dovrebbero essere lanciati nello spazio dalla forza centrifuga. — E che cosa, risponde Copernico, dovrebbe accadere nel caso che tutta la Sfera celeste, incomparabilmente più grande della Terra, ruotasse nel medesimo tempo? Non sarebbero tutti gli astri gittati nello spazio indefinito? Eppure Tolomeo insegnò questi non essere, a foggia di chiodi dorati, fissati al padiglione cristallino dei cieli, bensì masse librate e sospese nello spazio.

Se la Terra fosse trasportata intorno al Sole, argomentava Tolomeo, i sensi ossia le osservazioni dovrebbero indicarlo; invece ci fanno testimonianza, che noi ci troviamo sempre nel punto di mezzo della Sfera celeste. — Il raggio dell'orbita terrestre, risponde giustamente Copernico, in confronto della distanza delle stelle da noi è tanto piccolo, che il nostro avvicinarci od allontanarci da essi rimane impercettibile.

Tolomeo sosteneva che nel caso del moto della Terra intorno al Sole, non sarebbero possibili eclissi di Sole o di Luna. Questa difficoltà suppone che la Luna sia un pianeta principale ed indipendente come gli altri; ma siccome per Copernico la Luna non era che un pianeta secondario, un semplice satellite della Terra, le posizioni relative del Sole, della Terra e della Luna rimanevano le stesse.

357. — Per gli aderenti al Sistema Tolemaico era cosa inconcepibile, come mai in questo movimento così rapido (quale dovea essere quello della Terra nella supposta traslazione intorno al Sole) gli oggetti mobili, posti sulla superficie terrestre, non fossero lanciati lontano dall' impeto dell'atmo-

(1) Revol. l. 1, c. 8.

Digitized by Google

sfera resistente, la quale si supponeva, che riempisse tutto lo spazio interplanetario. — Copernico, senza rigettare l'esistenza d'una tale atmosfera gigantesca, si contentò della semplice spiegazione, che l'orbita terrestre formasse in mezzo ad essa una corrente moventesi insieme colla Terra.

Gli antichi filosofi, generalmente parlando, furono di opinione che il centro della Terra, verso il quale vedevano cadere tutti i corpi pesanti, fosse il vero centro di gravità di tutto l'Universo.

Siccome poi concepirono questi due centri come cose diverse e separabili, ne seguiva, che nel caso di una traslazione della Terra, il centro di gravità dovea rimanere staccato dal centro della Terra, e quindi tutti i corpi pesanti staccarsi dalla Terra e rimanere quasi penzoloni nell' aria, conglobandosi intorno al centro di gravità. — Copernico risponde, che questa tendenza dei corpi pesanti verso il centro della Terra non è una proprietà esclusiva dei corpi terrestri, ma che lo stesso deve essere il caso alla superficie degli altri corpi celesti, e come prova di questo adduce la forma sferica o globulare dei medesimi. Deve dunque ammettersi, conclude egli giustamente, un' attrazione fra le parti, le quali costituiscono le masse dei corpi celesti.

358. — Spianata così la via alla dimostrazione positiva colla confutazione delle difficoltà, che la scuola tolemaica metteva in campo contro il moto della Terra, Copernico incomincia la sua **argomentazione positiva.**

Aristotele (n. 290) dalla forma circolare dell'ombra, che getta la Terra nell'eclisse lunare, avea dedotto la forma sferica della medesima: Copernico con robusta argomentazione dà un passo avanti. Dal vedere che il cono ombroso proiettato dalla Terra va sempre più rimpicciolendosi dalla parte della Luna, egli conclude il Sole essere più grande della Terra. Ed allora perchè mai un corpo maggiore dovrebbe girare intorno ad un'altro minore?

Ricorre poi Copernico al noto principio generalmente riconosciuto dai filosofi, che non si debbono mettere in campo dei fattori, quando di questi non v'è bisogno: *Non sunt multiplicanda entia sine necessitate*; trattandosi di ipotesi scientifiche, quella merita la preferenza che spiega i fenomeni con maggiore

Digitized by Google

semplicità secondo l'adagio: *Non sunt facienda per plura, quae fieri possunt per pauciora.* Orbene, dice Copernico, non vogliamo noi concedere al Creatore dell'Universo quell'abilità e saggezza, di cui pure dànno saggio i mediocri orologiari, i quali si guardano bene, di porre nei loro orologi una ruotellina superflua; dove basta una, non ne mettono due. Ora basta il solo movimento della Terra, per renderci ragione dei molteplici apparenti moti planetari; dunque tutte queste apparenze si debbono ridurre ad un solo moto reale, quello della Terra.

359. — Vediamo come Copernico dimostri questa sua asserzione rispetto alle stazioni e retrogradazioni dei pianeti.

Cominciando la sua dimostrazione coi **pianeti inferiori**, Venere e Mercurio, le orbite dei quali sono circondate dall'orbita terrestre, dice così (lib. V, cap. 3): un circolo AB (Fig. 205), posto eccentricamente intorno al Sole, rappresenti l'orbita della Terra, che abbia il suo centro in C. Intanto, come se non vi fosse altra irregolarità nei moti del pianeta ☿ (o ♀), supponiamo la sua orbita DE omocentrica con AB. Le due orbite difatti hanno una certa inclinazione l'una verso l'altra; ma per maggior semplicità della dimostrazione supponiamo le due orbite trovarsi nello stesso piano. Dal punto A (della Terra) tiriamo le due linee visuali AFL ed AGM (tangenti al circolo planetario in F e G); il diametro AB coincida colla direzione del diametro del circolo minore ED. La Terra ed il pianeta girino con moto diretto (nel senso della freccia) intorno al Sole, però con velocità (angolare) diversa, cosicchè il pianeta compia un giro intero in un tempo più breve che non la Terra. Allora l'occhio d'un osservatore, collocato in A, vedrà la linea visuale AB (passante pel Sole) – insieme colle linee tangenti AL ed AM – spostarsi secondo l'apparente spostamento del Sole; girano cioè queste tre linee intorno al centro C (come gli indici d'un orologio, ma in senso inverso). Il pianeta impiega evidentemente più tempo, a percorrere l'arco FDG del suo circolo (sul quale il suo moto epiciclico apparisce

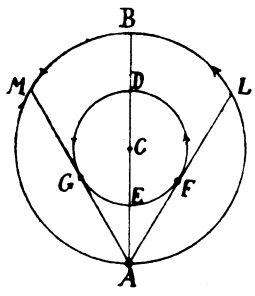


Fig. 205.

Digitized by Google

come moto diretto), che non l'arco minore G E F, sul quale il suo moto, veduto da A, sembra retrogrado.

Nel primo caso tutto lo spostamento angolare (apparente) F A G deve aggiungersi a quello del Sole; nel secondo invece sottrarsi da questo.

In quest' ultimo caso (specialmente presso il perigeo E), il pianeta spostandosi con maggiore velocità, che non il centro C, ad un osservatore, collocato in A, sembra essere retrogrado.

Dove i due moti si compensano, presso G ed F, il pianeta sembrerà stazionario.(1)

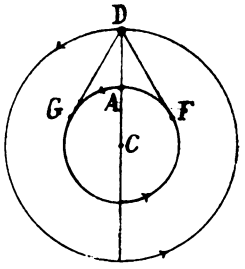


Fig. 206.

360. — Con figura somigliante (Fig. 206) Copernico spiega i fenomeni analoghi, osservati rispetto ai **pianeti superiori**: Marte, Giove e Saturno, le orbite dei quali circondano quella della Terra.

I circoli omocentrici D ed A, situati nello stesso piano, rappresentino rispettivamente una di queste orbite e l'orbita terrestre. Il pianeta si trovi in D; da questo punto conduciamo le tangenti D G e D F ed il diametro D C. Se la Terra trovasi in A, il pianeta D sarà in opposizione col Sole (C) ed allo stesso tempo nel suo *Perigeo*; trovandosi invece la Terra nel punto diametralmente opposto ad A, il pianeta sarà in congiunzione col Sole (scomparirà, eclissato dai raggi solari). Anche qui la Terra impiega meno tempo a percorrere l'arco F A G, che non il resto della sua orbita.

Essendo inoltre il suo moto (angolare) più veloce di quello del pianeta, la Terra, correndo da F verso G, avrà l'apparenza, come se il moto del pianeta fosse retrogrado, finchè sia sottratto da questo moto tutto l'angolo G D F. Invece quando la Terra percorre l'arco della sua orbita da G verso F, essendo il suo moto contrario a quello del pianeta in D, ne risulterà che il moto diretto di questo apparisca accelerato. Il moto della

(1) Copernico aggiunge, che gli angoli CAF e CAG (l'elongazione mattutina e vespertina) secondo le osservazioni fatte non sono sempre uguali; anche la loro somma, ossia l'angolo intero GAF è variabile: cosa che dimostra, che le orbite non sono perfettamente omocentriche.

Digitized by Google

Terra aggiunge in questo modo al moto diretto del pianeta tutto l'angolo GDF. Dove l'addizione si cambia in sottrazione e viceversa (presso G ed F), il pianeta sembra stazionario.

361. — Così tutti i principali epicicli inventati dagli antichi per spiegare quei fenomeni dei moti planetari, si riducono al solo moto della Terra. Quegli epicicli non erano quindi altro che l'orbita terrestre specchiata, per così dire, nel fondo del cielo dal moto apparente dei singoli pianeti.

Per rendere più chiara quest' idea serve la seguente considerazione (Fig. 207):

Intorno ad un tavolino rotondo T venga trasportato un lume L, due palline P e P′, sospese a diversa distanza dal ta-

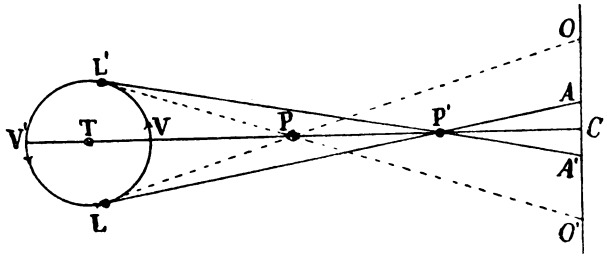


Fig. 207.

volino, getteranno l'ombra sulla parete opposta in O ed A, quando il lume trovasi in L; in O′ ed A′, quando il lume trovasi in L′.

Durante il trasporto del lume (fatto con moto uniforme) da L per V in L′, le ombre si spostano (con moto vario) da O in O′, da A in A′; mentre poi si porta il lume da L′ per V′ in L, le ombre ritornano da O′ ed A′ di nuovo verso O. Se il piano del tavolino, o meglio il piano del circolo, descritto dal lume, non coincidesse colla linea T P (condotta dal centro T alle palline), l'ombra, invece di linee rette OO′ ed AA′, descriverebbe circoli ovali o ellissi, gli assi maggiori delle quali sarebbero le dette linee.

Quello che fanno qui i raggi luminosi (L P, L P′, ecc.), nel caso nostro fanno le linee visuali, condotte dalla Terra al pianeta, il quale viene proiettato tra le stelle fisse.

362. — Da ciò si vede come, ammessa una volta la spiegazione di Copernico, così bella nella sua semplicità, dalla gran-

Digitized by Google

dezza delle escursioni planetarie poteva dedursi la loro rispettiva distanza, cioè $PC : P'C = OO' : AA'$. Il problema si rese soltanto un po' più complicato nel caso dei pianeti, in quanto questi durante l'annuo moto della Terra non restano allo stesso punto, ma progrediscono nelle loro orbite.

Di più queste orbite non erano (come Copernico supponeva ancora, colla tradizione quasi universale di tutta l'antichità), perfettamente circolari, nè il moto dei pianeti nelle medesime perfettamente uniforme. Conseguentemente anche Copernico ebbe bisogno di adoperare, oltre gli eccentrici, un discreto numero di epicicli (secondari), i quali (senza dubbio) eclissarono non poco la bellezza del suo sistema. L'eliminazione di queste imperfezioni era riservata al suo grande emulatore Giovanni Keppler.

363. — Ammesso una volta il moto di traslazione intorno al Sole, la **rotazione della Terra** intorno ad un asse proprio, parallelo all'asse del mondo, sembrava una cosa da concedersi *a fortiori*; restava soltanto da spiegarsi, come quest'asse terrestre nel suo trasportarsi intorno al Sole, rimanesse sempre diretto verso lo stesso polo del cielo.

Per spiegare questa cosa, Copernico parla di un **terzo moto** della Terra, mediante il quale l'asse di rotazione (percorrendo annualmente una superficie conica) rimane sempre sensibilmente parallelo alla sua posizione primitiva; producendo così allo stesso tempo due fenomeni importanti e intimamente connessi, cioè la variabilità della durata del giorno e della notte e **la successione delle quattro stagioni.** Non pochi autori, negando quel terzo moto dell'asse terrestre, mantengono, che Copernico sia incorso in un errore coll'ammetterlo. Chi però considera, che si tratta qui di un moto relativo, non assoluto, deve riconoscere la giustezza delle idee copernicane anche in questo riguardo.

L'asse terrestre N S (Fig. 208), dice Copernico, fa un certo angolo col raggio vettore C ♍; se quest'angolo N C ♍ rimanesse costantemente lo stesso, durante la traslazione della Terra intorno al Sole (☉), quest'astro rimarrebbe tutto l'anno nel tropico (♋), la durata del giorno e della notte rimarrebbe sempre la medesima (cioè quella del mese di giugno), le stagioni sarebbero sempre le stesse. Il costante parallelismo del-

Digitized by Google

l'asse terrestre (N′S′ ‖ NS) fa sì che il detto angolo, ogni anno, abbia un minimo, ∢ N C ☉ = 90° — *i*, ed un massimo, N′ C′ ☉ = 90° + *i*, passando successivamente per tutti i valori intermedii. Ora questo cambiamento della direzione di CN, relativamente al raggio vettore ☉ C, equivale ad un moto conico annuo di NC (N′C′) intorno alla perpendicolare VC (V′C′); cioè considerando ☉C come fisso, NC descrive il detto moto conico; considerando invece C☉ come mobile ed NC ed N′C′ come assi fissi, questi ultimi rimangono semplicemente paralleli a sè stessi, ossia ritengono la stessa direzione nello spazio (*in eandem fere mundi partem spectant, perinde ac si immobiles permanerent.* – Rev. I, 11).

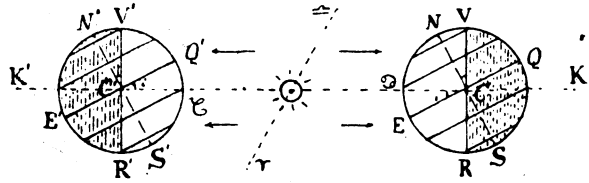


Fig. 208.

Quindi trovandosi la Terra in C, il Sole apparisce nel segno ♋, ossia il parallelo terrestre, chiamato Tropico del Cancro, ha a mezzogiorno il Sole allo Zenit; l'emisfero boreale ha il giorno più lungo, ivi è estate, mentre quello del Sud ha inverno, insieme colle giornate più corte. Trovandosi invece la Terra in C′, il Sole sta nel segno ♑; tutto sarà inverso, cioè l'emisfero Nord ha inverno, quello Sud estate.(1)

364. — In questo modo non soltanto la variazione delle stagioni, ma anche **la varia durata del giorno e della notte** trovano la loro pienissima spiegazione.

Stando il Sole nel segno di ♋ (vedi fig. 208), il circolo VR, terminatore della luce del Sole, divide i vari paralleli della

(1) Da ciò si vede, che il terzo moto dell'asse terrestre, asserito da Copernico nel senso spiegato, deve assolutamente ammettersi; soltanto oggidì noi, riconoscendo in ciò una conseguenza della *legge d'inerzia*, possiamo dire senz'altro, che l'asse di rotazione non si cambia, ma rimane sempre parallelo a se stesso. — Le frecce orizzontali nella figura indicano il parallelismo dei raggi solari.

Digitized by Google

Terra (rotante in 24 ore) in due parti disuguali (eccettuato il solo equatore), delle quali nell'emisfero boreale l'arco maggiore, abbracciante più di 12 ore (180°), riceve i raggi solari; l'arco minore sta nell'oscuro della notte, la quale dura quindi meno di 6 ore; anzi la regione artica (oltre il parallelo V) avrà giorno perpetuo, mentre l'opposta antartica (oltre il parallelo R) ha notte perpetua. Quando la Terra è passata in C' e vede il Sole nel segno ♉, tutto accadrà a rovescio.

La figura 209 mostra la disposizione delle cose nel tempo degli equinozi, cioè quando, al principio di *primavera* o di *autunno*, l'angolo N C ☉ = N' C' ☉ è diventato un angolo retto; allora la linea che congiunge il centro della Terra con quello

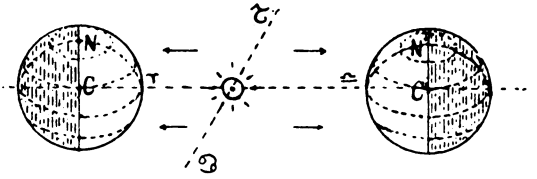


Fig. 209.

del Sole passa per l'equatore stesso, il *circolo terminatore* di giorno e notte passa per i due poli e divide non soltanto l'equatore, ma tutti i paralleli in due semicerchi; quindi compiendo tutti i punti dei vari paralleli, per la rotazione terrestre, il loro giro, attraversando questi due semicerchi, *il giorno e la notte saranno uguali* sopra tutta la Terra.

365. — Un quarto moto della Terra era finalmente richiesto, per spiegare la cosidetta **Precessione degli Equinozi.** Ipparco avea già fatto l'osservazione, che le longitudini delle stelle fisse crescevano cogli anni; cioè le stelle fisse sembravano dotate di un certo spostamento, procedevano con moto diretto secondo l'ordine dei segni; così, per esempio, la costellazione dell'Ariete (n. 11) andava verso il segno del Toro ♉, ossia dalla longitudine 0° verso quella di 30°, la costellazione del Toro verso il segno ♊ (lat. 60°), ecc., come difatti oggidì la costellazione dei Pesci ha preso possesso del punto ♈, e così gli altri asterismi dello Zodiaco si sono spostati nei segni successivi.

Considerando questo spostamento come spostamento della sfera delle stelle fisse (Sfera ottava degli antichi), e consi-

Digitized by Google

derando i punti equinoziali (♈ e ♎) e solstiziali (♋ e ♑) come immobili, si poteva concepire il moto come un moto diretto di quella sfera secondo l'ordine dei segni, e pare che a questo concetto sia dovuto il nome di precessione, il quale è poi rimasto, anche dopochè si riconobbe, che quello che si spostava erano piuttosto gli stessi punti equinoziali, i quali si muovono con moto lento e retrogrado lungo l' Eclittica. Sarebbe quindi più giusto parlare della Retrogradazione dei punti equinoziali; invece è rimasto il termine tecnico di *Precessione degli equinozi.*

Di questo fenomeno ci occuperemo più sotto; basti per ora indicare, come anche qui Copernico ebbe il grande merito di ridurre questa curiosa regressione al suo vero significato, cioè ad uno spostamento lento dell'asse terrestre, per il quale spostandosi pure il piano equatoriale, la linea ♈ ♎ d'intersezione di questo col piano dell'orbita terrestre, ossia dell' Eclittica, cambia posizione nello spazio interplanetario. (1)

Corollario. — Apprezzamento delle prove di Copernico.

366. — Tracciate così le linee generali del sistema eliocentrico, stabilito da Copernico, e spiegato nella sua opera *Intorno alle rivoluzioni nel sistema planetario*, nessuno può non ammirare la bellezza, la grandiosa semplicità e la coerenza, colla quale per mezzo del nuovo sistema era possibile di dare una spiegazione di una serie di fenomeni in apparenza intricatissimi, in realtà semplicissimi. Perchè dunque questo sistema non fu subito ammesso da tutti, ma trovò un numero non piccolo di avversari tra gli stessi astronomi?

Copernico stesso era così persuaso della verità delle sue spiegazioni, che evitò scrupolosamente di chiamare la sua teoria una mera ipotesi, termine applicato poi da molti altri alla medesima. (2)

Le ragioni, che Copernico opponeva alle difficoltà mosse contro i vari moti della Terra, erano abbastanza convincenti. Ma gli avversari potevano sempre dire, che anche il sistema

(1) Vedi *Revol.* lib. III. Cf. Müller, Nic. Cop. 97.
(2) Müller, l. cit. 139 sgg.

Digitized by Google

tolemaico spiegava le apparenze, sebbene in un modo più complicato; che la semplicità del sistema copernicano non era ancora un argomento sufficiente per la sua verità. Insomma, quello che si desiderava era un argomento positivo convincente, che le cose dovevano essere spiegate nel senso di Copernico e non altrimenti.

367. — Quello poi che, oltre il conservatorismo delle dottrine tradizionali, riteneva non pochi dal dare il loro assenso alla teoria copernicana, era una certa riverenza verso la Sacra Scrittura, molti detti della quale si credevano in contraddizione con la medesima. Copernico nel suo libro non parla affatto di questo punto, se non nella sua dedica al Sommo Pontefice Paolo III, dove accenna semplicemente, esservi alcuni di questa rigida opinione. Specialmente i protestanti coi loro capi (Lutero, Melantone, ecc.),[1] cominciarono immediatamente i loro assalti da questo lato della questione, e fu probabilmente questa la ragione, perchè Copernico, già favorito da più cardinali e vescovi, volle raccomandarsi alla protezione del Romano Pontefice. Infatti, dopo Paolo III non meno di dodici papi sedettero successivamente sulla cattedra di San Pietro, e nessuno di essi mosse difficoltà contro il sistema copernicano. Una crisi transitoria avvenne soltanto, quando Galileo Galilei prese in mano la difesa di Copernico, come vedremo in uno dei capi seguenti.

Art. II. — Le leggi di Keplero.

368. — Se Copernico deve essere considerato come il fondatore dell'Astronomia (Astromeccanica) moderna, Keplero può essere giustamente chiamato il Legislatore della medesima.[2]

Nato in Weil (1571), piccola città del Württemberg (da parenti protestanti), Keplero, finiti i suoi studi preparatorii, volle dedicarsi al ministero ecclesiastico, e per questo entrò in una specie di seminario governativo in Tubinga (Tübingen).

Durante i suoi studii filosofici il Keplero concepì un'affezione speciale per gli studi matematici ed astronomici, ai quali presiedeva come abile maestro il noto Maestlino. Questo,

(1) Müller, l. cit. 128 sgg.

(2) Anche sopra questo astronomo insigne abbiamo testè pubblicato in Germania uno studio storico-scientifico sotto il titolo: Johann Keppler, *der Gesetzgeber der neueren Astronomie*. Freiburg, Herder, 1903.

Digitized by Google

mentre secondo l'uso tradizionale e secondo i desiderii de' suoi superiori, esponeva in iscuola il sistema tolemaico, nondimeno era nell'intima sua persuasione aderente di Copernico. Questa cosa non rimase nascosta alla perspicacia del giovane Keplero, il quale cominciò a studiare più profondamente il sistema copernicano, e quanto più lo studiava, tanto più restò convinto della sua verità, non facendo per niente un segreto di questa sua persuasione. I superiori e professori, ardenti aderenti delle dottrine luterane, non videro con buon occhio quelle tendenze nel loro pupillo; anzi cominciarono a crederlo perciò meno atto al ministero ecclesiastico, cosicchè, offertasi l'occasione opportuna di applicarlo a qualche altro ufficio, la presero subito, invitando efficacemente il Keplero ad interrompere i suoi studii teologici ed accettare nella città di Graz (nella Stiria) una cattedra di professore di matematica.

369. — Keplero, dopo lunga esitazione sul da farsi, accettò finalmente l'offerta, e cominciò così nel 1594 la sua scuola in Graz. Come professore di matematica egli ebbe anche l'incarico di pubblicare il Calendario annuale del paese, nel quale, oltre i soliti dati astronomici sull'andamento del Sole e della Luna, solevano pure darsi certi pronostici intorno al tempo ed agli avvenimenti probabili del futuro anno. I pronostici fatti per la prima volta dal nuovo professore ebbero un successo tale, che gli procurarono subito la fama di grande astronomo. Chi era meno di tutti persuaso del suo merito in questo riguardo, era il Keplero stesso; nondimeno anche questo successo accidentale lo animò non poco a dedicarsi vieppiù agli studi astronomici, specialmente allo studio della grande opera di Copernico, dalla quale egli concepì una stima tale di questo uomo, che lo chiamò il grande Sacerdote, al quale mentre sacrifica all'altare, egli si contentava di fare da chierichetto.[1]

370. — Un primo frutto di questi studi fu un'opera pubblicata nel 1596 sotto il titolo **Mistero cosmografico**,[2] nella

(1) Müller, J. Keppler (op. cit.) 9.

(2) « *Prodromus dissertationum cosmographicarum, continens* MYSTERIUM COSMOGRAPHICUM *de admirabili proportione orbium coelestium, de que causis coelorum numeri, magnitudinis, motuumque periodicorum genuinis et propriis, demonstratum per quinque regularia corpora geometrica* ».

Digitized by Google

quale Keplero credette di avere scoperta l'ultima ragione non soltanto del numero, ma anche della disposizione dei pianeti (☿, ♀, ♁, ♂, ♃, ♄) intorno al Sole.

Cinque, così egli, sono i corpi regolari: *tetraedro*, *esaedro* o cubo, *ottaedro*, *dodecaedro*, *icosaedro*;[1] orbene, l'orbita circolare (descritta colla distanza media della Terra dal Sole) sia il punto di partenza: intorno al globo formato col detto raggio si circoscriva un *dodecaedro*; la sfera che lo contiene indica l'orbita di *Marte*; intorno a questa si descriva un *tetraedro*, esso sarà compreso dalla sfera (orbita) di Giove; intorno a questa si descriva un *cubo* (esaedro), la sfera che lo contiene è quella di *Saturno*. Ritornando alla Terra inscriviamo nella sua sfera un *icosaedro*, questo circoscrive l'orbita di *Venere*; un *ottaedro* inscritto a questa abbraccia l'orbita ossia la sfera di *Mercurio*.

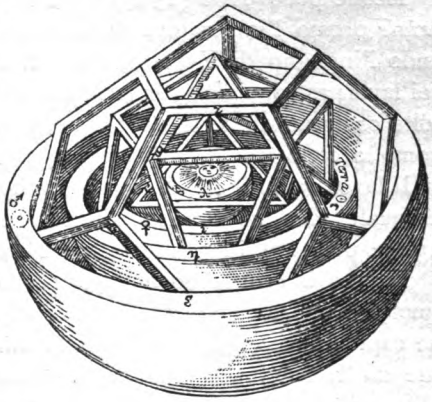


Fig. 210.

Keplero accompagna la sua descrizione con una bella figura (Fig. 210) rappresentante le orbite fino a quella di Marte.

Egli descrive con vivacità e non senza bei sentimenti di pietà e di gratitudine verso la divina Provvidenza, le sue indagini e la scoperta finale di questa ammirabile struttura del sistema planetario.[2]

(1) Il *tetraedro* è una piramide limitata da quattro (τέτρα-) triangoli uguali; l'*esaedro* è un cubo con sei (ξξ) faccie quadrate; l'*ottaedro* ha come lati otto (ὀκτὼ) triangoli uguali; il *dodecaedro*, dodici (δώδεκα) pentagoni [ossia figure regolari con cinque (πέντε) lati uguali]; l'*icosaedro* finalmente conta venti (εἴκοσι) triangoli. — ἕδρα o ἕδριον significa lato o base.

(2) Cf. Frisch. Kepleri Op. omn. I, 95: «Coeli enarrant gloriam Dei». Quae vox coelis, quae stellis? qua Deum laudent instar hominis? Nisi quod dum argumenta suppeditant hominibus laudandi Deum, Deum ipsae laudare dicuntur. Quam vocem coeli et naturae rerum dum ape-

Digitized by Google

371. — Siccome le relative distanze medie dei singoli pianeti dal Sole, a cagione dell'insufficienza di osservazioni esatte, non erano ancora state determinate colla precisione dovuta, era difficile di giudicare subito della esattezza della scoperta. Keplero stesso vide questo, e perciò chiamò questo suo primo scritto soltanto un *Precursore* (*Prodromo*) di ulteriori spiegazioni da farsi. Ad ogni modo le distanze teoriche del suo sistema, confrontate con quelle fin allora ammesse, erano tali, che gli astronomi contemporanei, e tra essi lo stesso Tycho-Brahe, ammirarono con stupore i risultati ottenuti.

Ticone poco dopo (1599) ebbe il posto di *Matematico imperiale* presso l'imperatore di Germania Rodolfo II. Apprezzando l'ingegno di Keplero, cercò di averlo come aiutante nei suoi lavori astronomici. Keplero, nella speranza di trovare nelle molte osservazioni, fatte da Ticone, una conferma del suo prodromo, accettò volentieri l'offerta.

Il lavoro principale, del quale Tycho-Brahe era incaricato, e nel quale Keplero doveva aiutarlo, era l'edizione di nuove tavole planetarie (le cosidette *Tavole Rudolfine*).

Venuto a Praga, dove l'astronomo imperiale avea la sua dimora, Keplero cominciò subito i suoi lavori prediletti. Quello che capitò primo nelle sue mani fu una serie di osservazioni, fatte da Ticone in Danimarca sul pianeta Marte. L'edizione delle suddette tavole richiedeva un esame esatto dell'orbita del pianeta, un lavoro che Keplero intraprese tanto più volentieri, in quanto sperava, di trovare così la prova più sicura del suo primo ritrovato (Mistero cosmografico). Inoltre egli si prometteva da questi nuovi studi una vera e definitiva prova del sistema copernicano.

372. — Ticone stesso, benchè sincero ammiratore di Copernico, nondimeno divideva gli scrupoli di Lutero, Melantone, ecc., i quali credevano essere il sistema copernicano in conflitto colla Sacra Scrittura.

Egli avea perciò ideato una via di mezzo, cioè ammettendo, che tutti i pianeti girassero veramente intorno al Sole come cen-

rimus his pagellis clarioremque efficimus, nemo nos vanitatis aut inutiliter sumpti laboris arguat » ... Kepl. Op. omnia, I, 95 ed. Frisch. (Francofurti, 1858).

Digitized by Google

tro, mantenne che il Sole con tutto questo corteggio planetario circolasse intorno alla Terra. Questo sistema, perciò anche chiamato **Sistema ticonico**, probabilmente non era altro che quello già indicato da Eraclide Pontico (n. 341), però con questa grande differenza, che al tempo di Eraclide il medesimo sarebbe stato una logica preparazione del vero sistema eliocentrico, mentre dopo i lavori di Copernico segnalava un vero regresso nelle idee giuste astronomiche, e ciò tanto più, inquantochè Ticone sembra avere pure negato (spinto dallo stesso motivo) la rotazione diurna della Terra.

373. — Keplero non avea tutti questi dubbi; anzi egli scrisse parecchie dissertazioni, colle quali dimostrò con argomenti abbastanza efficaci, i vari testi della Scrittura, allegati da' suoi correligionari, non essere in nessuna maniera opposti al sistema copernicano.

Queste divergenze di veduta fra Ticone e Keplero avrebbero probabilmente cagionate delle serie difficoltà nei comuni lavori dei due insigni astronomi, se la morte improvvisa di Tycho-Brahe nell'ottobre del 1601 non avesse tolto ogni ostacolo al Keplero di seguire le sue proprie idee. Keplero, nominato *Matematico imperiale* e rimanendo in possesso degli scritti del suo predecessore, raddoppiò allora i suoi studi sull'orbita del pianeta Marte. La cosa era più difficile, il lavoro più duro di quello, che non si era aspettato; ma finalmente riuscì completamente. Nel 1609 egli pubblicò la sua « **Astronomia nova** » sul moto del pianeta Marte,[1] nella quale annunziò al mondo non solamente la vera natura dell'orbita di questo pianeta, ma due leggi importantissime dell'Astromeccanica:

I. Le orbite piane, percorse dai singoli pianeti intorno al Sole, sono ellittiche, ed in un foco di queste ellissi risiede il Sole.

II. Le aree, descritte dal raggio vettore di ciascun pianeta intorno al Sole, sono proporzionali ai tempi nei quali sono descritte.

(1) ASTRONOMIA NOVA, **ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ** seu *physica coelestis*, tradita commentariis de motibus stellae Martis ex observationibus G. V. Tychonis Brahe. — Kepl. Op. omn. III, 135 sgg.

Digitized by Google

Dieci anni più tardi (1619) Keplero, come frutto de' suoi studi, poteva pubblicare colla sua opera *Harmonices mundi* una terza legge, non meno importante, sul vero rapporto delle varie distanze planetarie, cioè:

III. I quadrati dei tempi periodici dei diversi pianeti stanno tra loro, come i cubi degli assi trasversi delle orbite.

374. — Il metodo, col quale Keplero riuscì a scoprire queste leggi, fu del tutto esperimentale ed astrometrico: una specie di **triangolazione celeste** (cfr. n. 297). Supponendo cioè la verità del sistema copernicano, ciascun pianeta, trascorso il periodo della sua rivoluzione intorno al Sole, dovea ritornare allo stesso punto dell'orbita, donde era partito; per esempio, al punto dell'intersezione dell'orbita col piano dell'Eclittica, ossia coll'orbita terrestre (al suo *Nodo*). La Terra però, avendo un periodo maggiore o minore del pianeta, dovea trovarsi in punti diversi dell'orbita sua, donde poteva costruirsi un grande triangolo, la base del quale era formata dalle due posizioni della Terra, mentre il pianeta stava al vertice del medesimo. Di questo triangolo si conosceva la base e i due angoli adiacenti, quindi poteva determinarsi la posizione del vertice, ossia del pianeta. Determinata così una serie di posizioni del pianeta (Marte) relativamente all'orbita terrestre, e tracciando una curva continua pei punti così trovati, Keplero trovò primo, che l'orbita del pianeta non era un circolo, ma una curva ovale, che sopra questa curva ovale il pianeta si muoveva non con moto uniforme, ma vario, cioè in maniera tale, che i settori descritti erano proporzionali ai tempi (come dice la seconda legge.[1] Cercando di trovare una teoria matematica di quella curva (chiamata Ooide),[2] Keplero scoprì finalmente, che la curva planetaria era un'ellisse perfetta, e che il Sole trovavasi in uno dei fochi della medesima.

375. — Prima di tutto era però necessario, di conoscere bene la posizione dell'orbita terrestre, secondo Copernico ancora perfettamente circolare, ma posta eccentricamente intorno al Sole (Fig. 211).

(1) Così la scoperta della II legge precedette in certo modo quella della prima, donde alcuni autori invertono anche l'enumerazione.

(2) Da ᾠόν (*uovo*) e εἶδος (*figura*).

Digitized by Google

Il circolo A T P rappresenti quest'orbita, A sia l'afelio, P il perielio. M indichi la posizione di Marte al tempo della sua opposizione, cioè quando la Terra trovasi in T. Dopo una rivoluzione intera Marte starà di nuovo nel punto M (che per maggiore semplicità del problema stia nello stesso piano coll'orbita terrestre). La Terra invece, nello stesso tempo, oltre un periodo intero, avrà oltrepassato il punto T e troverassi in un altro punto T′ dell'orbita sua, congiungendo T′ con S (centro, del Sole) ed M, e tirando la retta S T M, avremo un triangolo, del quale possono determinarsi tutti gli angoli, e quindi si conoscerà almeno la proporzione dei tre lati.

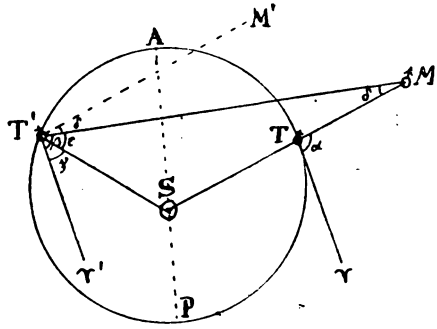


Fig. 211.

Infatti, se dai punti T e T′ tiriamo verso il punto d'Ariete le due rette parallele T ♈ e T′ ♈′, gli angoli $MT\Upsilon = \measuredangle \alpha$ ed $MT'\Upsilon' = \measuredangle \beta$ rappresentano le longitudini di Marte, osservate in T e T′; le longitudini del Sole (osservate in T e T′) saranno rappresentate o dedotte dagli angoli $ST\Upsilon = 180^\circ - \alpha$ e da $ST'\Upsilon' = \gamma$.

Ponendo $\measuredangle T'MS = \measuredangle \delta$; $\measuredangle MT'S = \measuredangle \varepsilon$;

di più tirando T′M′ ∥ S M, sarà

$$\measuredangle M'T'\Upsilon' = \alpha = \beta + \delta;$$

quindi $\delta = \alpha - \beta$; $\varepsilon = \beta - \gamma$.

Ripetendo la stessa triangolazione colla medesima base S M, si trova con sufficiente precisione la posizione dell'orbita terrestre. Trovata questa, si determina quella di Marte nel modo seguente:

376. — Conoscendo per un tempo qualunque la posizione relativa della Terra nell'orbita sua, Keplero poteva procedere alla variazione della posizione di Marte (Fig. 212).

Digitized by Google

Osservazioni fatte in T e T′ fornirono gli angoli

$\measuredangle \beta = MT\Upsilon$, $\measuredangle \beta' = MT'\Upsilon'$; (longitudine di Marte in T e T′)
$\measuredangle \gamma = ST\Upsilon$, $\measuredangle \gamma' = ST'\Upsilon'$; (longitudine del Sole).

Sia $\measuredangle \eta = \measuredangle STT'$, $\measuredangle \eta' = TT'S$
$\measuredangle \varepsilon = \measuredangle STM$; $\measuredangle \varepsilon' = \measuredangle ST'M$

sarà $\varepsilon = \beta - \gamma$; $\varepsilon' = \gamma' - \beta'$.

Conoscendo inoltre η ed η' dalla teoria dell'orbita terrestre, insieme colla corda TT′ (supponendo il raggio dell'orbita uguale ad uno), si conosce il triangolo TT′M; poichè

$$\measuredangle T'TM = \eta + \varepsilon, \quad \measuredangle TT'M = \eta' + \varepsilon'.$$

Dunque la posizione di M è determinata.

377. — Keplero fu fortunato in ciò, che l'orbita che esaminava in questo modo, e per la quale trovò tra le carte di Tycho-Brahe un numero sufficiente di osservazioni già fatte, era l'orbita di Marte, l'ellitticità della quale è maggiore di quella degli altri pianeti, eccettuata quella di Mercurio. Un esame dell'orbita di quest'ultimo, scelto con simile fortuna per la verifica delle leggi trovate, confermò pienamente la scoperta fatta.

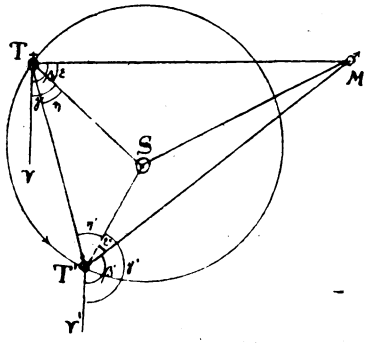


Fig. 212.

L'applicazione delle leggi agli altri pianeti, ed alla stessa orbita terrestre, era un mero corollario; dappertutto si verificarono le suddette regole generali.

Keplero, vedendo così stabilite le posizioni relative delle orbite planetarie, poteva ora determinare con maggiore precisione l'asse maggiore delle varie ellissi, e con ciò (n. 53,301) le **distanze medie** (semiassi maggiori) dei medesimi dal Sole; aveva quindi un mezzo in mano, di accertare se la sua prima pubblicazione, il Mistero cosmografico, fosse comprovato

Digitized by Google

dalle sue recentissime scoperte. Trovando però, che quelle distanze teoriche non erano se non una discreta approssimazione al vero, e nondimeno persuaso, che nella disposizione dei singoli pianeti vi dovea essere una certa armonia, dopo altri dieci anni di studi indefessi, trovò finalmente il bel rapporto, che esiste tra i tempi periodici ed i detti semiassi, ciò che esprime la III legge: $t^2 : t_1^2 = a^3 : a_1^3$.

> Quadrata sunt temporum periodicorum
> Ut cubi semiaxium transversorum.

Vi è dunque un rapporto costante pei singoli pianeti

$$\frac{t^2}{a^3} = \frac{t_1^2}{a_1^3} = \frac{t_2^2}{a_2^3} \text{ ecc.}$$

L'opera **Harmonices mundi**,[1] nella quale pubblicò il risultato di questi nuovi studi, è come il canto del cigno dell'Armonia delle Sfere, tanto celebrata nei tempi passati.

378. — Le leggi trovate dall'insigne astronomo fin d'allora non erano che l'espressione dei fatti, dei quali non si vedeva ancora la ragione intrinseca. Di rivelare questa, era riservato al grande Newton (vedi Art. IV). Ma anche come meri fatti le leggi kepleriane segnalarono un grande progresso delle idee copernicane. Gli epicicli, ancora rimasti in quel sistema, di cui eclissarono la semplice bellezza, erano ora scomparsi del tutto. Le sfere solide degli antichi si dileguarono come neve davanti al Sole; i pianeti e con essi la Terra, secondo l'espres-

(1) Harmonices mundi, libri quinque. Opera omn. V, 75 sgg. Anche in questo interessante libro Keplero dà sfogo ai suoi devoti sentimenti verso il Creatore dell'universo: « Restat ut tandem oculis et manibus de tabula demonstrationum ablatis inque coelum sublatis, Patrem luminum devotus et supplex comprecer: O qui lumine naturae desiderium in nobis promoves luminis gratiae, ut per id transferas nos in lumen gloriae; gratias ago tibi Creator Domini, qui delectasti me in factura tua et in operibus manuum tuarum exultavi » ... « Magnus Dominus noster et magna virtus eius et sapientiae eius non est numerus: laudate eum coeli, laudate eum Sol et Luna... namque ex ipso et per ipsum et in ipso sunt omnia... tam ea quae ignoramus penitus, quam ea quae scimus, minima illorum pars, quia adhuc plus ultra est...: Cf. Op. omn. l. c. V, 323 e 327.

Digitized by Google

sione di Keplero, si librarono nell'etere come uccelli nell'aria.[1] Nondimeno mancava ancora l'argomento perentorio, che i ritrovati di Copernico e Keplero non potevano ugualmente adattarsi al sistema tolemaico, il quale perciò rimase un sistema non solamente possibile, ma per molti anche probabile, anzi più probabile dell'altro, attesa l'autorità esterna, che sembrava appoggiarlo.

Art. III. — Galileo Galilei, propugnatore del Sistema Copernicano.

379. — *Galileo Galilei*, nato il 18 febbraio 1564 in Pisa, dopo i suoi studi preparatorii, fu (1581) mandato dal suo padre Vincenzo all'università di Pisa, per apprendervi filosofia e medicina. Finito il corso universitario, Galileo, seguendo la sua inclinazione naturale, si dedicò piuttosto agli studii di fisica e matematica.

Nel 1589 fu fatto professore di queste scienze in Pisa, e poi dal 1592 al 1610 in Padova. Varie scoperte, da lui fatte e pubblicate: sul moto del pendolo, sulla caduta dei gravi e sulle leggi generali del moto, gli procurarono grande stima di valente matematico. Insegnò allo stesso tempo gli elementi di astronomia, però in questo ramo delle scienze naturali le sue idee (come vedesi dal suo trattato della Sfera),[2] si appoggiarono sull'antico sistema tolemaico. Quando però nel 1604 comparve una stella nuova, Galilei fece alcune lezioni speciali intorno a quella straordinaria apparizione, della quale i dotti di quel tempo non sapevano decidersi, se dovevano considerarla semplicemente come una condensazione di vapori tellurici, ovvero un prodotto dei cieli.[3] Fu probabilmente in quella occasione, che egli cominciò a dubitare della verità delle idee antiche sull'incorruttibilità dei cieli, ecc. La fama però di Galileo come astronomo cominciò a divulgarsi, quando egli, dopo

(1) Ib. III, 177.

(2) Le Opere complete di Gal. Galilei (ed. nazionale, Firenze, 1890 ecc.), vol. II, 203–257. Tutte le seguenti citazioni (Op. Gal.) si riferiscono a questa edizione.

(3) Op. Gal. II, 267 sgg. Sfortunatamente soltanto pochi frammenti delle tre lezioni sono stati conservati.

Digitized by Google

l'invenzione del telescopio (n. 171), dirigendolo verso il cielo stellato, scoprì una serie di novità, pubblicate poi nel suo libretto **Sidereus Nuncius**,[1] che fecero quasi stordire il mondo.

380. — Galilei andato a Firenze, col titolo di Matematico del granduca (Cosimo II), fu nominato primo professore di matematica dell'università di Pisa, senz'obbligo però di residenza e senza esser astretto a dar lezioni, affinchè potesse darsi interamente a' suoi studi prediletti. Alle **scoperte astronomiche**, enumerate nel nunzio sidereo, si aggiunsero in breve tempo altre non meno importanti, come quelle delle macchie solari, delle fasi di Venere, della figura eccezionale di Saturno, ecc.[2] Ma (come suol accadere agli scopritori di cose nuove ed inaudite) gli invidiosi non mancarono. Questi cercarono ad ogni modo di screditare i nuovi ritrovati;[3] altri, meno mal disposti contro Galileo, dubitarono nondimeno della verità delle cose asserite;[4] altri, troppo attaccati alle dottrine

(1) Sidereus Nuncius, magna longeque admirabilia spectacula pandens suspiciendaque proponens unicuique, praesertim vero Philosophis atque Astronomis, quae a Galileo Galilei, Patritio Florentino, Patavini Gymnasii publico mathematico, Perspicilli nuper a se reperti beneficio, sunt observata in Lunae facie, Fixis innumeris, Lacteo circulo, Stellis nebulosis, apprime vero in quatuor Planetis circa Iovis Stellam disparibus intervallis atque periodis celeritate mirabili circumvolutis; quos nemini in hanc usque diem cognitos, novissime Auctor deprehendit primus, atque Medicea Sidera nuncupandos decrevit. Venetiis ap. Balleonium, 1610. Cf. Op. Gal. III.

(2) La priorità di non poche delle scoperte, fatte dal Galileo, è stata materia di controversia. Così le macchie solari furono indipendentemente scoperte (ed anche prima da Giov. Fabricio e dal P. Scheiner S. J., anzi dallo stesso Keplero, il quale nell'ottobre 1607 osservò una macchia grande ad occhio nudo, nella quale però egli credette di vedere Mercurio passante sul disco solare. — L'anello di Saturno fu riconosciuto per tale soltanto nel 1655 dal Huygens (Ugenio). La stessa scoperta dei satelliti di Giove fu contrastata dall'astronomo Simon Mayer (lat. Marius) di Gunzenhausen (Baviera), il quale propose per essi i nomi: Io, Europa, Ganimede e Callisto.

(3) Tra questi deve annoverarsi per esempio Martino Horky a Lochovic, il quale nello stesso anno 1610 diede alla luce un libello: *Brevissima peregrinatio contra Nuncium Siderium*. Mutinae ap. Iulium Cassianum. Op. Gal. III, 127 sgg.

(4) Magini scrive in una lettera, che di venti uomini dotti, i quali assistevano alla dimostrazione di Galilei, nessuno riuscì a veder bene i satelliti di Giove. Kepl. Opera ed. Frisch. II, 453.

Digitized by Google

tradizionali, si misero in difesa contro gli argomenti di Galileo, (1) il quale credette di trovare nelle sue scoperte una nuova prova per il **Sistema Copernicano,** che fin d'allora, incoraggiato dal Keplero, cominciò a studiare più profondamente.

Non si può negare, che la scoperta dei satelliti di Giove diede una bella prova, che nel sistema planetario un pianeta principale poteva essere accompagnato ed attorniato non soltanto da un satellite (come la Terra), ma da più di uno. — Le fasi di Venere mostrarono che questo pianeta, come la Terra e la Luna, non era dotato di luce propria, ma rifletteva soltanto la luce del Sole, come pure che, difatti girava intorno a quest'astro. — La scoperta delle macchie solari fornì un esempio di un corpo celeste, rotante intorno ad un asse proprio. Tutte queste cose e simili erano belle illustrazioni del sistema copernicano, ma non diedero una nuova prova convincente. La controversia però, a cagione di quei nuovi sussidî, divenne sempre più animata.

381. — Galileo nel 1611 venne a Roma, dove fu, generalmente parlando, accolto con grande applauso. Onorato dal sommo pontefice Paolo V e da parecchi Cardinali, (2) fu annoverato tra gli accademici de' Lincei, e mostrando le maraviglie delle sue scoperte si acquistò l'amicizia di non pochi uomini insigni, quali erano, per esempio, il cardinale Bellarmino, i padri Clavio (Klau) e Grienberger, professori del Collegio Romano, ed altri.

Anzi questi ultimi si facevano un pregio di confermare le scoperte di Galilei, e di esporle con encomio nei loro pubblici saggi.

(1) Francesco Sizi, fiorentino, pubblicò nel 1611 uno scritto contro Galilei sotto il titolo: *Dianoia astronomica, optica, physica*, qua Siderei Nuncii rumor de quatuor Planetis... vanus redditur. Venetiis, apud P. M. Berranum. Op. Gal. III, 201 sgg.

(2) Il Card. Barberini, poscia papa Urbano VIII (1623–44), volle perfino celebrare le scoperte di Galilei con un'ode oraziana della quale vogliamo almeno citare una strofa:

Non semper, extra quod radiat iubar
Splendescit intra: respicimus nigras
In Sole (quis credat?) retectas
Arte tua Galilaee, labes.

Tutta l'ode, composta di 19 strofe, trovasi nell'opera di S. Pieralisi: *Urbano VIII e Galileo Galilei.* Roma 1875, pag. 22.

Digitized by Google

Tutto sarebbe andato bene, se Galileo, imitando Copernico, si fosse contentato di cercare le sue prove soltanto nel campo dell'astronomia; ma sfortunatamente, ritornato a Firenze, egli volle entrare nell'arena teologica, dove (è vero) alcuni de' suoi avversari l'aveano allettato.

382. — Verso la fine dell'anno 1613, Galileo scrisse una lunga lettera al P. Castelli, suo amico, nella quale parla ampiamente della **S. Scrittura** e del modo d'interpretarla.(1) Dopo aver mostrato, essere un errore, voler sempre interpretare le S. Scritture secondo il senso letterale, parla delle ragioni, per le quali la S. Scrittura adopera il linguaggio ordinario, e conclude: nessun dover far le maraviglie, se essa si serve del medesimo, quando deve far menzione del Sole e della Terra. Finisce la sua lettera commentando le parole dirette da Giosuè al Sole(2) e conclude, che anche secondo l'antica scuola (peripatetica) Iddio non fermò il Sole, ma piuttosto il *primum mobile*.(3)

Questa lettera, largamente diffusa, fece impensierire non pochi; crebbe l'apprensione dell'autorità ecclesiastica, quando nel 1615 uscì fuori un opuscolo, scritto dal Galilei e dedicato a Cristina di Lorena, madre del granduca di Toscana, nel quale egli espone il modo di commentare la Sacra Scrittura,(4) appoggiandosi all'autorità di S. Agostino, Tertulliano, S. Girolamo, Pietro Lombardo, S. Tommaso, S. Carlo Borromeo, ecc. In fine propone la sua interpretazione dei testi controversi, e conclude, non senza una certa provocazione, colle parole di Platone: « *Naturam rerum invenire difficile: et ubi inveneris, indicare in vulgus nefas* ».(5)

Di più Galileo, sfidando in questo modo i suoi avversari teologici, cagionò direttamente la condanna dell'opera di Copernico, asserendo nel medesimo scritto, che l'autorità eccle-

(1) Op. Gal. V. 279.

(2) « Sol contra Gabaon ne movearis et luna contra vallem Ajalon ». Iosue, X, 12.

(3) Op. Gal. V, 279. Queste ragioni erano già state ampiamente discusse dal Keppler, il quale mandò i suoi scritti al Galilei. Cf. la nostra opera: « *Keppler der Gesetzgeber der neueren Astronomie* ». Freiburg, Herder, 1902.

(4) Op. Gal. V. 307-348.

(5) Luogo cit. 348, nota.

Digitized by Google

siastica, per sbandire dal mondo la dottrina copernicana, sarebbe costretta, non soltanto di imporre silenzio al matematico fiorentino, ma di proibire coll'opera di Copernico tutti i libri, che difendono le medesime dottrine.

383. — Galilei, già formalmente denunziato all'autorità ecclesiastica di Roma, (1) obbligava così questa stessa autorità, di sottoporre ad un rigoroso esame il libro di Copernico ed alcuni altri scritti di vari autori, per vedere, se vi era veramente un contrasto colle dottrine rivelate. Questo penoso affare, che fu trattato con tutto il riguardo possibile verso Galilei, avrebbe avuto ancora un esito felice, se si fosse potuto presentare un argomento stringente in favore del Sistema copernicano; ma questo non si trovava. (2) L'unico argomento nuovo apportato dal Galilei stesso, prendeva le mosse dal **Flusso e riflusso del mare**; (3) ma sfortunatamente quest' argomento lasciava molto a desiderare, anzi conteneva delle asserzioni, che erano in aperta contraddizione coi fatti.

Secondo Galilei il flusso e riflusso del mare era dovuto alla maggiore o minore velocità di traslazione di un punto della superficie terrestre intorno al Sole: se il globo terrestre

(1) Cf. la nostra opera cit. *Nicc. Copernico*, cap. XIV.

(2) Questo lo abbiamo dalle esplicite parole del Card. Bellarmino. Cf. Müller, Nic. Cop. 163. — Dei grandi perfezionamenti apportati dal Keplero al sistema copernicano, Galilei non fa nessuna menzione.

Quello però che un Keppler protestante poteva facilmente permettersi, per combattere le ragioni, promosse contro il sistema copernicano dai suoi correligionari, non era permesso ad un cattolico, come era Galilei, in un paese eminentemente cattolico, ed in un tempo, quando il protestantesimo colla sua libera interpretazione della S. Scrittura, minacciò di invadere la stessa Italia.

(3) Il manoscritto autografo del piccolo trattato, composto dal Galilei 1616, è stato ritrovato ai giorni nostri nella biblioteca Vaticana. Esso porta il titolo: *Trattato del Flusso e Reflusso del mare*, composto da Galileo Galilei ad istanza dell'Ill.mo e Rev.mo Sig. Card. Flavio Orsino, (scritto di propria sua mano) in Roma agli 8 di gennaio 1616, mentre egli stava per le persecutioni (de) ricevute dagli emoli suoi sequestrato alla Trinità de' Monti nel giardino Medici. — È stato ristampato tra le *Memorie della Pontificia Accademia dei Nuovi Lincei*, vol. XV. Roma, 1899, p. 417-440. Cf. il nostro commentario più disteso nel periodico germanico: Stimmen aus Maria Laach, 1899, sotto il titolo: *Die Erscheinungen von Ebbe und Fluth im Zusammenhang mit dem Copernicanischen Weltsystem.* Cf. Op. Gal. V, 371-395.

Digitized by Google

rappresentato (Fig. 213) dal cerchietto A B, girando intorno all'asse di rotazione, allo stesso tempo (con moto uniforme) gira intorno al Sole (⊕), il moto effettivo di traslazione sarà vario per i vari punti della superficie A, B, secondo che questi ruotando hanno lo stesso senso di movimento (in A), ovvero un senso contrario (in B); nel primo caso le velocità (di traslazione e rotazione) si sommano, nel secondo si distruggono almeno in parte. Le acque del mare, a cagione della loro mobilità relativa, risentono questa variazione, oscillando ora in un senso, ora in un altro, ora ritraendosi dalle coste, ora accumulandovisi. — Lasciando da parte altre difficoltà, se fosse vera la spiegazione di Galilei, vi dovrebbero essere due maree al giorno, per esempio, alta marea a mezzanotte (in A), bassa marea a mezzogiorno (in B); invece si osservano quattro di questi cambiamenti, che poi dipendono apparentemente piuttosto dalla posizione della Luna, che non da quella del Sole. Ma se anche questi astri cospirano nel loro influsso, oramai conosciuto, come dovuto alla differenza dell'attrazione delle masse di questi due corpi, avremo alta marea tanto a mezzogiorno, quanto a mezzanotte.

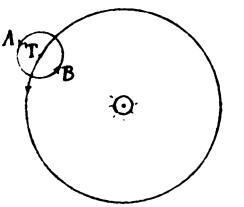


Fig. 213.

Da questo già si vede, senza entrare in altri particolari dell'argomento, quanto esso era lontano dal poter convincere gli oppugnatori del sistema copernicano. Era impossibile, che Galilei stesso non vedesse questo conflitto della sua teorica colle osservazioni fatte; egli però era piuttosto disposto, a dubitare delle osservazioni, che della sua teoria: un periodo di sei ore invece di dodici, gli pare essere un'anomalia, una eccezione – crederlo ordinario, essere « un'ingannevole opinione, la quale ha poi fatto favoleggiare gli scrittori con molte vane fantasie ». (1)

(1) Memorie dei N. Lincei, loc. cit. p. 432. — Quei periodi erano del resto già abbastanza conosciuti dagli antichi, come attesta Plinio (Hist. nat. l. 2, c. 97): « Aestus maris accedere et reciprocare, maxime mirum, pluribus quidem modis, verum causa in sole lunaque. Bis inter exortus Lunae affluunt, bisque remeant, vicenis quaternisque semper horis... ancillante sidere, trahenteque secum avido haustu maria ». Cf.

Digitized by Google

384. — Frattanto Galileo era venuto a Roma (1616) senza essere formalmente citato dall' autorità ecclesiastica, ed ivi, benchè trattato con tutti i riguardi possibili « con indiscreto zelo » cercò di far propaganda delle sue idee. (1) La questione copernicana frattanto fu discussa dalla congregazione del Santo Uffizio, senza nessun intervento di Galilei. La mancanza di argomenti stringenti, e forse l' evidente errore di alcune così dette prove, sembrano avere esercitato la loro influenza sul giudizio dei rispettivi teologi, i quali decisero l' opinione sui moti della Terra essere veramente erronea, e quindi i testi apportati della Sacra Scrittura (2) doversi intendere letteralmente. In conformità con questo parere la **Congregazione dell' Indice** il 5 marzo 1616 emanò un decreto, col quale la lettura dell' opera di Copernico fu sospesa, colla restrizione però: « *Donec corrigatur* ». (3) Si proibivano poi generalmente tutti quei libri, ne' quali si difendeva l' immobilità del Sole.

Galileo promise di tacere e potè senza molestia alcuna fare ritorno alla sua Firenze; anzi poco dopo (26 marzo 1616) il cardinale Bellarmino († 1621), il quale era stato incaricato di ricevere dal Galilei quella promessa, gli diede un certificato, attestando, Galilei non essere stato obbligato ad abiurare veruna sua opinione o dottrina, nè essergli stata imposta peni-

Cicero (2 Divin. 14 in fine): « Marinorum aestuum accessus et recessus motu lunae gubernatur ». Ciononostante lo stesso argomento viene sostenuto dal Galileo ancora 16 anni dopo questa prima dissertazione; anzi viene chiamato dal medesimo argomento stringente l' intelletto umano, ecc.

(1) Lo stesso ambasciatore del granduca di Toscana, del quale il Galileo era ospite, scrive (4 marzo 1616) al suo signore: « *Egli s' infuoca nelle sue openioni, ci ha estrema passione dentro, et poca fortezza et prudenza a saperla vincere* ». Op. Gal. XII, 242.

(2) Cf. Müller, Nic. Cop. 164. Tra gli undici teologi del S. Officio, i quali decisero contro Galileo, uno solo (il P. Bened. Giustiniani) apparteneva alla Compagnia di Gesù. I luoghi più frequentemente citati come contrari al sistema copernicano, oltre quello già riferito di Giosuè, sono: I. Paralip. XVI, 30, i Salmi XLV, 6; LXXIV, 4; CIII, 5; XCII, 1.

(3) Le correzioni da farsi furono pubblicate nel 1620 per mezzo di un Monitum della Congregazione, nel quale il chiarissimo autore viene nominato con titoli assai onorifici, la sua opera è encomiata; è riconosciuta la grande utilità della medesima. Alcuni pochi passi soltanto sono censurati, cioè dove l' autore perentoriamente sostiene il moto della Terra. Si trovano enumerati nell' opera citata, Nic. Cop. p. 166 sg.

Digitized by Google

tenza alcuna, ma l'autorità ecclesiastica essersi contentata della promessa da lui fatta, di non voler più nè in parole, nè in iscritto, difendere la detta dottrina, essendo essa contraria alla Sacra Scrittura.

385. — Galileo dunque da buon cattolico si sottomise all'autorità ecclesiastica, però sembra, che egli ben presto dimenticasse la promessa fatta. Nel 1618 egli manda all'arciduca Leopoldo d'Austria il sovracitato *Trattato sul flusso e riflusso del mare*; nel 1623 egli pubblica il suo « **Saggiatore** », [1] nel quale, sebbene più di nascosto, difende le idee copernicane. Nel 1624, dopochè il cardinale Barberini era salito sul trono pontificio, sotto il nome di Urbano VIII, Galilei torna a Roma colla speranza di ottenere una revoca dei decreti sovracitati. L'Accademia dei Lincei aveva già dedicato allo stesso Sommo Pontefice il *Saggiatore*. Venuto a Roma, Galilei fu ricevuto colla solita benignità circa sei volte da Sua Santità, e trattenuto in lunghi ragionamenti. Visitando parecchi cardinali, gli fu detto, che secondo la mente di Sua Santità la dottrina copernicana non era considerata come eretica, e che non si voleva condannarla come tale, ma solo come temeraria; che però non era da temere, che alcuno fosse mai per dimostrarla necessariamente vera. [2]

Nel medesimo anno 1624 Galilei scrisse una lunga lettera a Francesco Ingoli, ravennate, [3] la quale forma una vera difesa del sistema copernicano. Alla fine della lettera (o meglio del trattato) egli dice di voler molto più diffusamente parlare di questa materia, avendo condotto a termine il suo discorso sul flusso e riflusso del mare. — Nonostante tutto ciò Galileo non fu molestato in modo veruno dall'autorità ecclesiastica;

(1) Il Saggiatore, *nel quale con bilancia esquisita e giusta si ponderano le cose contenute nella Libra astronomica e filosofica di Lotario Sarsi Sigensano*». Op. Gal. VI, 197–372. Questo scritto era cagionato da una controversia tra Galilei ed il P. Grassi S. J. professore del Collegio Romano, intorno alle comete dell'anno 1618. Op. Gal. VI. 21–34. Lo spirito di acrimonia da parte di Galilei apparisce già nelle prime righe (Loc. cit. VI, 213), molto più però nelle postille, da lui apposte alla pubblicazione del Sarsi (Grassi).

(2) Così scrive lo stesso Galilei, 8 giugno 1624. Op. Gal. XIII, 183.

(3) F. Ingoli, nel 1616, quando Galileo stava a Roma, mandò a questo una scrittura in forma di lettera: [*De situ et quiete Terrae contra Coper-*

Digitized by Google

segno evidente del grande riguardo, che si usava in Roma verso di lui.

386. — La crisi avvenne, quando finalmente nel 1632 vide la luce in Firenze il famoso **Dialogo** intorno ai due Massimi sistemi del Mondo, Tolemaico e Copernicano, (1) nel quale Galilei mise fuori i suoi argomenti per la dottrina copernicana. Due anni prima (1630) egli era venuto di nuovo a Roma, per scandagliare il terreno e per ottenere (se possibile) l'*imprimatur* per questa sua opera. L'ottenne veramente, ma sotto certe condizioni, poi non osservate; cosicchè il primo punto dell' accusa, dipoi istituita, era questo: « *d' aver posto l' imprimatur di Roma, senza partecipar la pubblicazione con chi si dice aver sottoscritto* ».

Arrivati in Roma i primi esemplari del libro stampato, il maestro del S. Palazzo, vedendo che i suoi ordini erano stati trascurati, li fece per ordine del Papa trattenere in dogana. Cominciò così il famoso **processo Galileano**, che ha suscitato tanta animosità nel campo dei nemici della Chiesa, e del quale perciò dobbiamo qui occuparci un po' più a lungo malgrado la strettezza di spazio concessoci in questo compendio.

Cominciamo il nostro esame critico dal punto meramente scientifico, cioè colla domanda: se Galilei nell'opera incriminata abbia veramente provato la verità del sistema Copernicano, ovvero se abbia in essa portato un argomento nuovo, se non convincente ed assoluto, almeno probabile. Questo punto, pur troppo trascurato nella oramai celebre controversia, spetta proprio al tribunale della scienza astronomica, e merita quindi un esame più particolare; ma vedremo, che la risposta all'una e all'altra domanda deve essere *negativa*.

nici Systema disputatio. Op. Gal. V, 397-412], nella quale combatteva la dottrina copernicana. Egli divenne (1622) Monsignor Segretario della Congregazione di Propaganda e fu fondatore della celebre stamperia di quella. — Ora dopo otto anni Galilei si risolve, di dare la risposta citata, che copre nelle Op. Gal. (VI, 501 sgg.) ben 50 pagine. La replica di Mons. Ingoli è indiretta: contra « Ioannis Kepleri impugnationes contra disputationem de eadem re ad Galileum de Galileis scriptam », avendo Keplero già nel 1619 nella sua *Epitome Astronomiae Copernicanae* risposto a gran parte delle obbiezioni. Si noti poi, che questo libro di Keplero era già stato messo nell'indice dei libri proibiti.

(1) Op. Gal. VII. 21-489.

Digitized by Google

387. — Le prove addotte si riducono a tre: *La prima* si basava sul fenomeno delle stazioni e retrogradazioni dei pianeti, *la seconda* sulle macchie solari, *la terza* sul flusso e riflusso del mare.

La prima prova non era altro, che una ripetizione di ciò che Copernico già avea esposto con sufficiente chiarezza nella sua opera; cioè, che per spiegare il moto diretto, retrogrado, stazionario dei pianeti, bastava supporre una circolazione della Terra intorno al Sole (num. 359). Galileo illustra soltanto la cosa con una figura nuova (Fig. 214)[1]

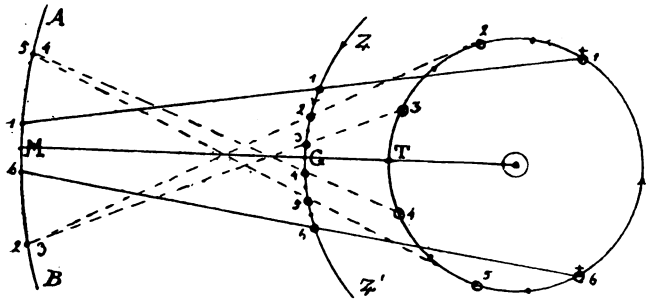


Fig. 214.

la quale, supponendo il Sole (☉) nel centro, e la Terra (♁) mobile, sul cerchio T circoscritto, per le successive posizioni 1, 2, 3, 4, 5, 6... mentre il pianeta Giove (♃), muovesi allo stesso tempo sul circolo maggiore G per 1, 2, 3, 4, 5, 6... L'ultimo cerchio A B segna lo Zodiaco, sul quale l'osservatore proietta il pianeta. Dopo le cose da noi esposte (di sopra), la figura non ha bisogno di altra spiegazione.

Galileo però esagera molto la forza dell'argomento, dicendo inoltre, che con questo le apparenti esorbitanze, osservate nei varii movimenti dei cinque pianeti vengono levate *via tutte e che i movimenti stessi sono ridotti a moti equabili e regolari.*[2] Che questa affermazione non possa conciliarsi cogli ec-

(1) Abbiamo modificato un poco la figura, per rendere più cospicuo il relativo andamento dei tre punti in quistione.

(2) Op. Gal. VII, 372.

Digitized by Google

centrici ed epicicli, lasciati da Copernico (num. 362), e colla seconda legge di Keplero, ognuno vede. Nondimeno dice Galileo (Salviati), che « questa sola congettura dovrebbe esser bastante, a chi non fusse più che protervo o indisciplinabile, a farlo prestar l'assenso a tutto il rimanente di tale dottrina ».[1]

388. — La seconda prova, tolta dal fenomeno delle macchie solari,[2] convince il lettore anche meno della prima. Ecco in breve i fatti osservati: le macchie solari, osservate per parecchi giorni successivi, non ritengono la stessa posizione relativa sul disco solare, ma mostrano uno spostamento considerevole, cosicchè in quindici giorni incirca, attraversano tutto il disco da Oriente verso Occidente, dando così una prova assai chiara della rotazione del globo solare intorno ad un asse pro-

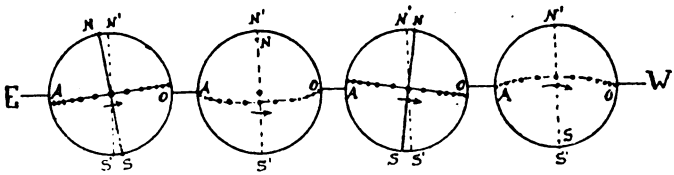


Fig. 215. Fig. 216. Fig. 217. Fig. 118.

prio N S (Fig. 215–218), di cui i punti N ed S segnano i rispettivi poli (Nord e Sud). Notando sopra di un cartone le posizioni giornaliere di una medesima macchia (equatoriale), che attraversa il disco, e congiungendo con una linea queste posizioni, si vede che la linea A O, così tracciata, offre varii aspetti, secondo i varii tempi dell'anno; ora di una linea retta, poi di una curva ellissoidale. Di più la linea retta presenta una piccola inclinazione (di circa 7 gradi) verso il piano dell'eclittica; cioè l'asse di rotazione N S fa coll'asse eclitticale (N' S') un angolo di circa sette gradi. Il senso però dell'inclinazione ora è verso Est (Fig. 215), un mezz'anno dopo verso West (Fig. 217). Similmente la concavità dell'ellisse (Fig. 216) ora è voltata in alto, e fa vedere il solo polo Nord (N), un mez-

(1) Ivi, 370. — Salviati tra gli interlocutori è quello che spiega, prova, ecc. insomma che rappresenta il nostro Accademico (Galilei).

(2) Op. Gal. VII, 372 sgg.; cf. V, 7–251.

Digitized by Google

z'anno dopo è rivolta in basso (Fig. 218) e fa vedere il solo polo Sud (S).

La spiegazione non è difficile: collochiamo sopra un tavolino (rotondo) un globo qualunque col suo equatore un po' inclinato verso l'orizzonte; andando intorno al tavolino avremo tutti gli aspetti descritti; *dunque*, conclude Galilei, la variazione annua degli aspetti varii delle macchie solari prova, che l'osservatore si trasporta, nello spazio d'un anno, intorno al Sole – prova la traslazione della Terra intorno al Sole!

Di questa argomentazione si possono approvare tutte le premesse e nondimeno negare la conseguenza; poichè gli stessi fatti trovano la loro pienissima spiegazione, supponendo una traslazione del Sole intorno alla Terra, purchè si aggiunga (come realmente vuole la legge dell'inerzia,[1] che l'asse del Sole rimanga in questa traslazione parallelo alla sua posizione primitiva. Infatti basta che, osservando questa precauzione nello sperimento accennato, noi trasportiamo il globo intorno all'occhio nostro ed avremo i medesimi aspetti. Dunque neanche questo argomento « tanto insigne » aggiungeva peso veruno a quello già addotto da Copernico.[2]

389. — La terza prova apportata da Galilei non era altro, che una riproduzione (con poche aggiunte) di quella, da noi

(1) Lo stesso terzo moto assegnato da Copernico alla Terra (n. 363) richiedeva questa aggiunta.

(2) « Il Sole », dicea Galilei (l. c.), « come testimonio maggior d'ogni eccezione, ci ha voluto dare l'attestazione di una conclusione tanto insigne »; più correttamente Keplero fin dal 1611, quando fu accertata la rotazione del Sole, avea scritto al medesimo Galilei: « *Si sol gyratur ad sensum oculorum, est quod sibi Commentaria mea Martis gratulentur, at nondum ideo vicit Pythagorica ordinatio, ac ne Copernicus quidem expresse plane* ». Op. Gal. XI. 16.

Di più, Galilei vedeva tanto bene, che col parallelismo dell'asse solare [ossia coll' attribuire al Sole il terzo movimento di Copernico (n. 363), richiesto per la Terra] il suo argomento perdeva tutta la sua forza, che ricordando in fine questa eccezione, non ha altra risposta che questa: il detto assunto « *all'intelletto mio si rappresenta molto duro e quasi impossibile* » (Gal. Op. VII, 382); ma allora altrettanto dovea essere dura ed impossibile la detta spiegazione di Copernico rispetto al parallelismo dell' asse terrestre.

Cf. il nostro articolo nel periodico: «Stimmen aus Maria Laach, 1897, Heft 4: « *Die Sonnenflecke im Zusammenhang mit dem copernicanischen Weltsystem* ».

Digitized by Google

già discussa (num. 383), tolta cioè dal fenomeno del flusso e riflusso del mare. Era in certa maniera la prova prediletta di Galilei (« proposizione grandissima ») nella quale avea tanta confidenza, che a tutto il dialogo volle prima dare il titolo: « Dialogo del flusso e riflusso »; ma « la difficoltà dell'accidente e la grande astrazione di mente che ci volevano per capirla » lo sgomentarono. Vedendo, che senza la Luna non potevasi rendere ragione del fatto, Galileo, mantenendo il ragionamento da noi già esposto, introdusse un periodo mensile, contradetto dagli stessi fatti osservati.(1) Secondo la sua spiegazione, al tempo del Novilunio avrebbe dovuto aver luogo una marea bassissima, al Plenilunio invece altissima – cosa che non si osserva. – Ma Galilei, lo ripetiamo, « disperato di poterne venire a capo », si sentiva piuttosto disposto, a dubitare della « testimonianza di tanti uomini degni di fede », che abbandonare la sua argomentazione.(2)

Concludiamo dunque, che non erano tanto « ignoranti nelle scienze naturali » come si vorrebbe asserire, quegli avversari di Galilei, che fra i punti dell'accusa aveano in ultimo luogo messo questo: « Haver mal ridotto l'esistente flusso e riflusso del mare nella stabilità del Sole e nella mobilità della Terra ».(3)

390. — Del resto, Galilei stesso attesta la verità delle nostre deduzioni.

Nel decorso del famoso processo egli dichiara sotto giuramento, che « internamente e veramente » stimava i suddetti argomenti « per non concludenti e per confutabili », avendo esagerato il loro valore per quella « natural compiacenza, che ciascheduno ha delle proprie sottigliezze ».

(1) Op. Gal. VII. 471 sgg.

(2) Ivi 472.

(3) IL PROCESSO DI GALILEI, estratto dal vol. XIX della Edizione Nazionale delle Opere di Gal. Galilei. Firenze 1902, pag. 61.

Gli stessi amici di Galilei, come Micanzio e Campanella, aveano prima della pubblicazione dei Dialoghi espresso i loro dubbi al medesimo: « *Non bene arrivo* », scrivea il primo, « *come il moto della Luna vario influisca in quello della Terra per il flusso* ». — « Circa il movimento del mare, non in tutto sono per adesso con V. S. », scrive l'altro. — L'accademico francese Bertrand, il quale pubblicò in questi ultimi tempi una vita (in lode) di Galilei, dice (p. 227) sopra questo argomento: « *On doit regretter, qu'il lui ait accordé une place dans l'un de ses plus excellents écrits* ».

Digitized by Google

Nessuno quindi si maraviglierà, se in questa confessione le autorità ecclesiastiche videro una nuova conferma di ciò, che avea già detto il Papa stesso: che il sistema copernicano non resisteva alla prova. Conseguentemente non vi sembrava essere ragione sufficiente, per interpretare i testi accennati della S. Scrittura in un senso non letterale.(1)

L'errore commesso dall'altra parte era semplicemente questo, che i teologi, i quali dovettero giudicare la causa, credettero di avere prove teologiche sufficienti per dichiarare, che i citati testi della S. Scrittura non potevano interpretarsi altrimenti, che nel senso letterale, cioè della stabilità della Terra e della mobilità del Sole; ma in nessun modo può dirsi, che essi decretarono contro l'evidenza delle scienze naturali.(2)

391. — Più felice, che nelle prove positive, era Galilei nella confutazione di certe difficoltà, che si solevano in quel tempo addurre contro « i pretesi movimenti » della Terra, tanto contro quello di rotazione, quanto contro quello di traslazione intorno al Sole.(3) La principale, che sembrava insolubile, era questa: se la Terra girasse intorno ad un asse proprio, un grave P (Fig. 219), cadendo dall'alto di una torre o di un albero, non potrebbe arrivare sulla terra nel punto A, situato perpendicolarmente sotto quello di partenza. Supponiamo, dicevano gli avversari, che una pietra impieghi solo due secondi per giungere in terra, percorrendo lo spazio P A: se veramente

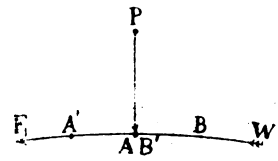


Fig. 219.

(1) Die Sabbati 30 Aprilis 1633. Cfr. IL PROCESSO, ecc., loc. cit. 77. La dichiarazione è sottoscritta: *Io Galileo Galilei ho deposto come di sopra.*

(2) Dal detto si vede, con quanta esagerazione rettorica un certo monumento asserisca, Galileo essere stato giudicato « *reo di aver veduto girar la Terra intorno al Sole* ».

(3) Infatti questa parte negativa o polemica occupa circa tre quarti del Dialogo. Vi sono però molte cose, che non hanno verun nesso immediato col sistema copernicano, ma riguardano idee antiquate della fisica aristotelica, la confutazione delle quali non era punto difficile. Galileo però le confuta con sarcasmo ed ironia, che fa ridere sì i suoi aderenti, ma dovea vie più esasperare i suoi avversari. Un punto dell'accusa era: «Lo strapazzo degl'autori contrarii e di chi più si serve S. Chiesa». Loc. cit. 61.

Digitized by Google

la Terra ruota, il piede A della torre in questo frattempo si sarebbe allontanato verso Est (E) dalla posizione di prima (A) circa cento passi (nelle latitudini medie), passando cioè da A in A′; nel luogo di A sarebbe invece sottentrato il punto B′, venendo da B (essendo A A′ = B B′); ora questo non si osserva mai; dunque la Terra non ruota.

Galilei, per sciogliere questa difficoltà, saviamente ricorre ad uno sperimento: osservando cioè una nave, ora in quiete, ora in moto, dimostra, che tanto nel primo, quanto nel secondo caso, una pietra, lasciata cadere dalla cima dell'albero, cade al piede del medesimo; imperciocchè, quando la nave è in moto, la pietra partecipa a questo movimento orizzontale, al quale nella caduta si aggiunge quello verticale, avendosi così un movimento composto, dal quale risulta un terzo, solo in apparenza parallelo all'albero (in moto). (1)

Con questo restava allo stesso tempo confutata la difficoltà, addotta contro il moto di traslazione della Terra, che un mobile non poteva avere nello stesso tempo più movimenti, ossia un moto molteplice. Bisogna distinguere, avverte bene il Galilei, tra i moti (relativi) componenti ed il moto (assoluto) risultante. Anche di questo doppio movimento Galilei dà un bell'esempio. (2) Un uomo, trasportato in una nave, scriva una lettera; egli certamente partecipa prima di tutto al moto della nave sul mare, la sua mano però, o meglio la punta della penna, ha un movimento particolare, segnato sulla carta dalle lettere scritte. Ma che figura diversa dalla lettera scritta verrebbe fuori, se la punta della penna avesse facoltà, di lasciar visibil segno di tutto il suo viaggio nello spazio. Sarebbe una curva distesa forse da un porto all'altro. Nel primo caso abbiamo il moto particolare relativamente alla nave, nel secondo il moto assoluto nello spazio, o meglio relativamente alla superficie terrestre.

392. — Della Sacra Scrittura non si parla affatto nell'accusa del 1632. Galilei nel suo *Dialogo* avea prudentemente schivato questo scoglio, che gli avea cagionato tante difficoltà

(1) Cf. Op. Gal. VII, 152. — La soluzione da noi compendiata in poche parole, viene svolta in molte pagine, condita con motti ed allusioni arguti e piccanti.

(2) Op. Gal. VII, 197.

Digitized by Google

negli anni passati. Una volta soltanto, accennando al noto miracolo di Giosuè, l'interlocutore Salviati dichiara espressamente: « *Ogni cosa mi piace, fuorchè l'aver mescolati luoghi della Sacra Scrittura sempre veneranda e tremenda, tra queste puerizie pur troppo scurrili... questo è poi peggio di tutto: perchè mostra d'aver cose più efficaci e concludenti che le autorità delle Sacre Lettere; ma di grazia riveriamo queste e passiamo ai discorsi naturali e umani* ».

Ma qui stava appunto la grande difficoltà teologica e giuridica, che rese Galilei sospetto di eresia agli occhi de' suoi giudici. Questi consideravano la cosa come definita col decreto del 1616; essere cioè da una parte il moto della Terra contrario alla Sacra Scrittura, e quindi contrario alla fede cattolica, e ciononostante voler Galilei provare nel suo *Dialogo* la verità di questo moto. Così si spiega quell'altro punto di accusa: « *Tratta la cosa come non decisa e come che si aspetti e non si presupponga la definizione* ». — Non si trattava però qui di una definizione *ex cathedra* del Sommo Pontefice, ma di un decreto reformabile di una congregazione pontificia; sono quindi fuor di proposito tutti gli attacchi fatti da questa parte dagli avversari della Chiesa cattolica contro l'infallibilità della Chiesa e del suo augusto Capo. Per purgarsi da quel sospetto di eresia Galilei, come è noto, dovette affermare solennemente nella chiesa della Minerva (22 giugno 1633) la sua fede sinceramente cattolica, aliena da qualunque opinione veramente eretica.[1] Il *Dialogo* fu messo all'indice dei libri proibiti; dal quale però è stato di nuovo cancellato da lungo tempo. La carcere, alla quale Galileo fu condannato (*pro forma*) per la sua disobbedienza e per l'inosservanza della solenne promessa, fatta nel 1616, fu subito cambiata in un soggiorno

(1) Il testo della sentenza e dell'abiura trovasi: Riccioli, *Almagestum novum*, I, 498 sgg. Cf. *Il Processo di Gal.* l. cit. 136.

Non è qui il luogo, di diffonderci sopra questo lato della questione: Che però una Congregazione romana, la quale niuno ritiene infallibile, ed alla quale neppure il Papa può delegare la sua infallibilità, abbia errato una volta, designando come contraria alla Scrittura una dottrina, che lo è soltanto in apparenza, ciò non è poi una cosa tanto mostruosa, che perciò un cattolico debba coprirsi la faccia per rossore.

Cf. Müller, Nic. Cop. (Cap. XV, *Schiarimenti*). — Grisar, *Galileistudien*. Regensburg, 1882.

Digitized by Google

nella deliziosa villa Medici sul monte Pincio. Pochi giorni dopo (essendo scoppiata la peste in Firenze) gli fu permesso di partire alla volta di Siena, dove abitando col suo amico l'arcivescovo Piccolomini, riprese i suoi studi. Verso la fine del 1633 ritornò alla sua villa di Arcetri (presso Firenze), dove nel 1642 finì i suoi giorni in età di 77 anni. (1)

393. — Ecco dunque a che si riduce questa famosa questione Galileiana, travisata da tanti scrittori con ogni sorta di raggiri e di interpretazioni arbitrarie, circondata da tante favole e ravvolta in una nebbia di racconti leggendari, che neppure meritano una seria confutazione. (2) Errori sono stati commessi dall'una e dall'altra parte; ma, come osservava bene il *P. Baldigiani* S. J., sincero ammiratore di Galileo, al Viviani (discepolo e biografo del medesimo), « se Galilei fosse stato più avvisato e prudente, se, ritenendo tutta la dottrina copernicana, avesse mutato la maniera di scriverla, non avrebbe incontrato quei disgusti, anzi nulla sarebbe mancato alla sua gloria ». Così pure il Card. Bellarmino l'avvisò in tempo, ad operare con più cautela; ma Galilei non seppe servirsi di tal consiglio. (3)

394. — Per ciò che riguarda il progresso della scienza astronomica, questa in realtà non ebbe a soffrire gran fatto dallo spiacevole intermezzo. Tutti i dotti continuarono a far uso dell'opera di Copernico, tutti (anche i cattolici) potevano

(1) La sua posterità *naturale* (un figlio e due figlie) si estinse presto.

(2) Galilei non è stato mai in una carcere propriamente detta; molto meno egli è stato torturato. È una favola (inventata un secolo e mezzo più tardi), che dopo la sua abiura egli, calpestando la terra, abbia mormorato: « *E pur si muove* ». Falso è, che egli sia stato perseguitato dall'*odio* de' suoi nemici; più falso ancora, che questi « nemici » si trovarono principalmente tra i sodali della Compagnia di Gesù. Insomma il « Martire della Scienza » immaginato da varii autori, cioè quello scienziato, il quale abbia con argomenti perentorii dimostrato una verità naturale, la quale poi abbia dovuto abiurare, non esiste — anzi chi fa questa supposizione, dovrebbe accorgersi, che del preteso martire fa invece un uomo vile, che sacrifica alla minaccia di un nemico la sua intima persuasione. — Le prove di tutto ciò vedi nell'opera citata del P. Grisar.

(3) Cf. Müller, loc. cit. 178. Un simile avviso era stato dato da Keplero nel 1619: « Importunitate quorundam dogmata astronomica loco non suo, nec qua par erat, metodo proponentium effectum est, ut lectio Copernici quae ab annis paullo minus octoginta liberrima fuit, suspensa porro sit, donec opus emendetur ». *Frisch*, Kepl. Op. V, 8.

Digitized by Google

adoperare il suo sistema, almeno come una ipotesi comoda, per semplificare i computi astronomici. Avea avuto ragione il dotto P. Grienberger (prof. del Collegio Romano, che godeva speciale confidenza di Galileo), il quale scrisse fin dal 1614 (a mons. Dini), che Galileo avrebbe dovuto prima mettere fuori buone prove ed argomenti convincenti, e poi parlar della Scrittura. Pian piano nella stessa Roma si formò la persuasione, che la sentenza, emanata contro Galileo, non poteva essere considerata come perentoria e definitiva, anzi che era ancora permesso ai dotti, di cercare delle prove positive in conferma della ipotesi copernicana, e man mano che queste prove furono poi trovate e messe in evidenza, i decreti contrari ecclesiastici andarono in disusanza, o furono formalmente ritrattati. Nessun autore a cagione di esso è stato messo nell'indice dei libri proibiti dopo il 1633. Anzi crediamo di non esagerare, affermando, che il processo galileano servì non poco a concentrare l'attenzione degli astronomi più che mai sopra il sistema copernicano. Furono di nuovo esaminati tutti gli argomenti *pro* e *contra*, furono scoperte delle prove nuove e veramente convincenti, e così fu preparato il finale trionfo del sistema,[1] al quale già il P. Riccioli applicava a tempo suo (1651) il detto di Orazio:

> Per damna, per caedes, ab ipso
> Sumit opes animumque ferro.

Art. IV. — Newton e la gravitazione universale.

395. — Isacco Newton (lat. *Neutonus*), nato il 5 gennaio 1643 in Whoolstorpe (presso Grantham, Lincolnshire), nei primi anni della sua educazione scientifica mostrò poca inclinazione verso lo studio delle scienze. Ammesso però verso il 1660 all'università di Cambridge, il suo ingegno per le discipline matematiche cominciò a manifestarsi. Nel 1665 egli dovette ritirarsi in patria a cagione della peste, che avea invaso la città di Cambridge. Un giorno, mentre seduto sotto un albero, era occupato co' suoi problemi matematici, una mela cadendo dall'albero gli cagionò una piccola distrazione ne' suoi

(1) Müller, Op. cit. 174 sgg.

Digitized by Google

studi. La forza, che attrae questa mela verso la terra, così disse egli a se stesso, non potrebbe essa essere identica con quella, che ritiene la Luna nell'orbita sua?

L'accelerazione dei gravi cadenti alla superficie terrestre dopo le ricerche fatte da Galilei, era conosciuta ($g = 30{,}6$ piedi parigini $= 9{,}8$ metri), [1] era pure conosciuta la formola (sviluppata da Huygens) della forza centrifuga (uguale ed opposta a quella dell'attrazione), la quale viene espressa dal quadrato della velocità del mobile, diviso per il raggio di curvatura

$$f = \frac{v^2}{r} .$$

Supponendo dunque per una prima approssimazione una orbita circolare con moto uniforme, la velocità (v) sarà espressa dal rapporto di spazio (s) e tempo (t), cioè

$$v = \frac{s}{t} = \frac{2r\pi}{t} \quad ; \quad v^2 = \frac{4r^2\pi^2}{t^2} \quad ;$$

dunque

$$f = \frac{4r\pi^2}{t^2}$$

nelle quali formole s esprime una circonferenza intera, t il tempo periodico. Ora nel caso della Luna si sapeva che

$t = 27^d\ 7^h\ 43^m\ 48^s = 2\ 360\ 628^s$
$r = 60{,}4$ raggi terrestri $= 1\ 184\ 593\ 353$ piedi parigini.

Sostituendo questi valori nella formola, troviamo

$$f = 0{,}0083923$$

396. — Se la forza, che attrae il grave alla superficie terrestre, è identica a quella che ritiene la Luna nell'orbita sua,

(1) Cioè alla fine di un secondo il grave ha acquistato una velocità tale, che con questa sola percorrerebbe in un altro secondo lo spazio di 9,8 metri.

Digitized by Google

potremo a tutte due applicare la terza legge di Keplero, cioè chiamando t_1 il tempo di una rotazione terrestre ed r_1 il raggio della Terra, sarà

$$\frac{t^2}{t_1^2} = \frac{r^3}{r_1^3};$$

ossia

$$\frac{t^2}{r^3} = \frac{t_1^2}{r_1^3} = \text{Costante (C)}; \quad t^2 = r^3 C; \quad t_1^2 = r_1^3 C.$$

Chiamando f_1 l'accelerazione alla superficie terrestre, sarà pure

$$f_1 = \frac{4 r_1 \pi^2}{t_1^2}.$$

Dunque

$$f : f_1 = \frac{4 r \pi^2}{t^2} : \frac{4 r_1 \pi^2}{t_1^2} = \frac{4 r \pi^2}{r^3 C} : \frac{4 r_1 \pi^2}{r_1^3 C} = \frac{r_1^2}{r^2};$$

ossia $f_1 = \frac{r^2 f}{r_1^2}$; sostituendo in questa formola il valore trovato per la Luna, cioè $f = 0{,}0083923$, si trova

$$f_1 = 30{,}6 \text{ piedi parigini} = 9{,}8 \text{ metri};$$

il quale valore è identico a quello già conosciuto. Dunque la stessa legge di attrazione, che si manifesta nella caduta dei gravi alla superficie terrestre, ritiene pure la massa lunare nell'orbita sua. (1)

(1) Newton non riuscì subito, a trovare questo bel risultato, a cagione del raggio terrestre, non ancora determinato colla dovuta precisione. Secondo Picard (n. 302) un grado terrestre avea soltanto 297251 piedi par. moltiplicando questo numero con 360, si ottenne la circonferenza terrestre ($2 r_1 \pi$), dalla quale poi si ricava il valore del raggio terrestre. Da questi dati (sbagliati) risultò $f_1 = 26{,}586$, che sembrava poco soddisfacente.

Nel 1682 Newton sentì, che Picard (già nel 1671) avea fatto una nuova determinazione del grado terrestre, trovando un valore considerevolmente maggiore del primo, cioè $1^\circ = 342\,360$. Egli ripigliò allora i suoi calcoli del 1665. Arrivando alla fine dei medesimi, e prevedendo, che il risultato sarebbe quello che aspettava, fu preso da un'emozione tale, che non potè più continuare il calcolo, ma dovette domandare un suo amico di terminarlo.

Digitized by Google

397. — Era naturale l'estendere la cosa agli altri pianeti, ed ecco tosto scoperta la legge della gravitazione universale; cioè: Ciascun pianeta è attratto dal Sole con una forza direttamente proporzionale alla sua massa ed inversamente proporzionale al quadrato della sua distanza.

Newton fece una discussione profonda della sua scoperta, e riuscì nel breve spazio di due anni a dimostrare, che la sua legge era un mero corollario delle leggi kepleriane, come pure, che supponendo la legge dell'attrazione universale, le leggi di Keplero ne erano la naturale conseguenza. Tutte queste ricerche si trovano esposte nell'insigne opera (del 1687) intitolata: Principia mathematica philosophiae naturalis, la quale d'allora in poi diventò il solido fondamento dell'astronomia o meglio dell'**Astromeccanica moderna.** In essa si vedono raccolte e riunite tutte le verità di questa scienza, scoperte fino a quel tempo. Newton dimostra, come tutte hanno la loro sorgente nell'attrazione universale, la quale domina in tutto l'universo, anzi è una qualità universale di qualunque corpo materiale.

398. — Dalla II sua legge Keplero (num. 378) avea già tirata la conseguenza, che vi dovea essere una **forza attrattiva nel Sole,** la quale ritiene i singoli pianeti nelle orbite rispettive.

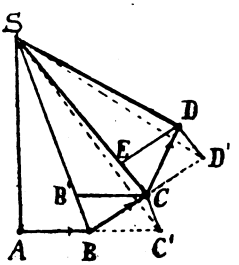


Fig. 220.

Infatti l'ellisse kepleriana, percorsa dai pianeti, può concepirsi come una curva, composta di piccolissimi lati rettilinei, percorsi ciascuno con moto uniforme nei brevissimi ma uguali tempuscoli t. Siano A B, B C, C D (Fig. 220) tali lati; allora secondo la legge delle aree sarà $\triangle ASB = \triangle BSC = \triangle CSD$ ecc.

Se il mobile fosse sollecitato da una forza sola, avendo percorso nel tempuscolo t la lineetta A B, nell'intervallo susseguente (t) percorrerebbe, nella stessa direzione di A B, lo spazio $BC' = AB$. La deviazione in B è dunque dovuta ad un'altra forza B B', la quale colla componente B C' produce la risultante B C. B C sarà quindi la diagonale di un paral-

Digitized by Google

lelogrammo B C′ C B′, nel quale il lato B B′ coincide col raggio vettore B S; cioè quella seconda componente del moto è diretta verso il punto S (ossia verso il Sole).

Invero se congiungiamo C′ con S, allora i seguenti triangoli saranno uguali:

$$\triangle SBC' = (\triangle S B A =) \triangle S B C;$$

dunque i triangoli S B C′ e S B C, avendo la stessa base S B, avranno la stessa altezza ossia i loro vertici si trovano sopra una linea parallela alla base, cioè

$$C C' \parallel S B; \text{ ma anche } B B' \parallel C C'$$

conseguentemente B B′ si trova sulla linea S B, e la forza della deviazione è rappresentata dalla linea B B′. Nella stessa maniera si prova che la forza deviatrice in C si trova sulla C S, quella in D sulla D S ecc. Dunque la forza che devia il pianeta dalla sua direzione (rettilinea), è situata nel Sole.

399. — Supponendo invece una forza centrale residente nel Sole, dalla quale il pianeta viene costretto a cambiare continuamente la sua direzione, si deduce, che il pianeta deve muoversi secondo la II legge di Keplero.

Poichè nel secondo tempuscolo t, per la sola forza preconcepita, il pianeta passerebbe da B in C′, la forza centrale misurata da B B′ lo costringe a percorrere piuttosto la risultante B C; essendo B C′ = A B, il quadrilatero B B′ C C′ sarà un parallelogrammo; quindi C C′ ∥ B′ B.

Conseguentemente $\triangle S B C = (\triangle S B C') = \triangle S B A$ ecc.

Di sopra (n. 396) abbiamo già mostrato (supponendo orbite circolari) [1] come questa forza attrattiva del Sole (opposta

(1) Le deduzioni, qui indicate per mezzo di considerazioni elementari, si avrebbero più esattamente e speditamente per mezzo del calcolo infinitesimale, inventato dallo stesso Newton: dimostrando cioè, che la conseguenza, da noi dedotta per un moto circolare, vale pure per l'ellisse, anzi per qualunque sezione conica. Rispetto a queste prove rimettiamo gli studiosi all'opera del nostro maestro e collega P. Foglini, *Corso di meccanica* (preceduto da una introduzione sopra i principii della geometria analitica e del calcolo infinitesimale). II edizione, Roma, 1872, vol. II, cap. 8.

Digitized by Google

alla forza centrifuga) secondo la III legge di Keplero somministra la seguente proporzione:

$$f : f_1 = r_1^2 : r^2,$$

cioè la forza colla quale il Sole attrae i singoli pianeti sta in ragione inversa del quadrato delle distanze.

Donde si vede, che il Sole (o meglio il centro del Sole) può riguardarsi come la sede di una forza attrattiva, la quale si estende indefinitamente per ogni verso. A distanze uguali la forza acceleratrice sarebbe la stessa per tutti i pianeti, come pure è la stessa per tutti i gravi cadenti alla superficie terrestre, dove la loro distanza dal centro della Terra è la stessa.

400. — Che si deve però anche tener conto della massa, tanto del corpo attraente, quanto del corpo attratto, lo provano appunto i gravi cadenti. Finchè la loro massa è così piccola, rispetto alla massa della Terra, che si possa trascurarla, l'accelerazione dei corpi può trattarsi come quella di semplici punti materiali; se però il corpo cadente è così considerevole, che l'attrazione che esso esercita sulla Terra diventa sensibile, bisogna tenerne conto.[1] **Massa** (M) di un corpo chiamasi l'aggregato delle particelle che lo compongono, ossia la quantità della sua materia, sia essa omogenea o eterogenea. Per giudicare, se l'aggregato delle particelle in due corpi di uguale **volume** (V) sia diverso, si ricorre appunto alla gravitazione (g), ossia alla pressione che tutti e due esercitano in virtù dell'attrazione terrestre sopra un sostegno. La risultante (M. g) di questa pressione di tutte le particelle chiamasi **peso** (P) del corpo. Il prodotto M. g chiamasi anche forza motrice.

(1) In questo riguardo scrisse già Keplero: « *Si duo lapides in aliquo loco mundi collocarentur, propinqui invicem, extra orbem virtutis tertii cognati corporis, illi lapides convenirent loco intermedio, quilibet accedens ad alterum tanto intervallo, quanto est alterius moles in comparatione* ». (Op. omn. VIII, 1001). Donde egli conclude, se la Luna e la Terra non fossero ritenute nelle loro orbite da un'altra forza, diversa da quella di proiezione, cioè, dall'attrazione d'un corpo centrale, la Terra salirebbe $^1/_{54}$ della sua distanza verso la Luna, e la Luna scenderebbe verso la Terra ($^{53}/_{54}$ della distanza attuale).

Digitized by Google

Donde si conclude, che corpi di uguale peso avranno masse uguali; se corpi di uguale massa (peso) hanno volumi diversi, egli è segno che l'aggregato di materia è più denso nel corpo più piccolo, meno denso nel corpo più grande; cioè la **densità** (D) esprime il rapporto tra massa (M) e volume (V)

$$D = \frac{M}{V}; \quad M = V\,D. \quad \text{Dunque} \quad M : M' = V\,D : V'\,D'.$$

401. — Ciò posto, la **forza motrice** che due masse esercitano scambievolmente l'una sopra l'altra, viene espressa dal prodotto della somma delle loro masse, moltiplicato per la forza acceleratrice: $(M + M')\,f$.

Se M' relativamente ad M è così piccolo che può essere trascurato senza errore sensibile, allora la forza motrice sarà semplicemente espressa dal prodotto $M\,f$.

I pianeti sono di diversa grandezza, hanno quindi (come ♁ e ☽) un volume diverso, che si conosce, misurando il loro diametro apparente, e considerando la loro distanza. Ora queste misure provano, che il maggiore di tutti i pianeti *Giove*, benchè più di mille volte più grande della Terra, nondimeno è pure più di mille volte più piccolo del Sole.

Così si spiega, perchè anche nel caso che Giove avesse una densità uguale a quella della Terra, nondimeno la sua accelerazione sarebbe sensibilmente la stessa come quella della Terra, collocata a quella distanza dal Sole. È dunque la preponderanza colossale della massa centrale del Sole sopra tutti i pianeti, la quale fa sì, che essi ubbidiscono alla sua forza attrattiva, come se fossero punti materiali. Così pure si spiega, perchè nelle leggi di Keplero le masse planetarie non appariscano, e perchè le medesime possano essere trascurate in una prima determinazione delle orbite rispettive. D'altronde l'identità della forza con quella della gravitazione alla superficie terrestre dimostra, che la gravitazione universale agisce in ragione diretta delle masse ed in ragione inversa del quadrato delle distanze.[1]

(1) Vedremo in altro luogo, come si possano *pesare* i varii corpi del sistema planetario, cioè valutare più precisamente la loro forza motrice e quindi la loro massa.

Digitized by Google

402. — Dal detto fin qui si vede, che il deviare dei varii pianeti dal moto rettilineo equivale ad una continua caduta di essi verso il Sole, centro comune di attrazione. Se cessasse l'attrazione, essi continuerebbero la loro strada in linea retta, in direzione della tangente all'orbita, e con moto uniforme, cioè con quella velocità, che aveano al momento della cessazione della forza centrale. Questa velocità potrebbe essere diversissima, non soltanto pei vari pianeti, ma anche per lo stesso pianeta; perchè, secondo la II legge di Keplero, il moto è più veloce al perielio, che non all'afelio. Per la stessa legge un pianeta, collocato a maggiore vicinanza del Sole colla sua velocità attuale di traslazione, dovrebbe percorrere la sua nuova orbita con maggiore velocità.

Corollario.

403. — Newton, concludendo la sua opera importante (*Philosophiae naturalis principia mathematica*), vi aggiunge un corollario, o come lo chiama Scholium generale, nel quale protesta che l'attrazione universale da lui stabilita, anche se si estende ai sistemi stellari più lontani, non può dispensarci dall'ammettere un Dio onnipotente ed infinitamente sapiente, il quale governa tutta questa macchina dell'universo: « Hunc cognoscimus solummodo per proprietates suas et attribuita et per sapientissimas et optimas rerum structuras et causas finales; veneramur autem et colimus ob dominium ».

In quanto poi alla causa immediata della gravità, egli confessa ingenuamente che questa non può essere ancora assegnata, e riguardo alla medesima neppure vuole fare delle ipotesi: « *Hypotheses non fingo* »! « A noi basta sapere che la gravità esiste, e che agisce secondo le leggi stabilite, le quali sono sufficienti a spiegare i vari fenomeni, soggetti alla medesima, non eccettuato il flusso e riflusso del mare ».

Ciò non ostante l'attrazione può concepirsi (con Bullialdo † 1694) come una forza raggiante (analoga a quella della luce), l'energia della quale scema pure reciprocamente col quadrato della distanza, con questa differenza però, che mentre la luce agisce soltanto alla superficie dei corpi, la gravitazione pervade tutta la massa, attaccando le singole particelle dei medesimi.

Digitized by Google

Sospetti, più o meno fondati, dell'esistenza di una tale forza erano già stati espressi da parecchi astronomi prima di Newton; ma il merito, d'averla dimostrata con rigore matematico, rimane al grande inglese, al quale il suo compatriota Pope pose il seguente epitaffio:

Nature and nature's law lay hid in night,
God said: let Newton be, and all was light.

CAPITOLO IV.

NUOVE SCOPERTE NEL SISTEMA PLANETARIO. LA LEGGE DI TITIUS. URANO, NETTUNO E GLI ASTEROIDI. PIANETI SECONDARI O SATELLITI.

404. — Le leggi di Keplero, e con esse la scoperta della gravitazione universale, furono il bel frutto degli studi di quell'insigne astronomo sulla distribuzione armonica dei pianeti intorno al Sole. Ora conosciuta più accuratamente la distanza media dei singoli pianeti, tali ricerche furono continuate da altri. Giovanni Daniele Tietz (lat. *Titius*), professore di Matematica e Fisica nell'università di Wittenberga, fu il primo a segnalare un rapporto particolare tra i singoli pianeti, il quale di poi ricevette il nome di **legge di Titius.**

Prendendo cioè per unità di distanza quella della Terra dal Sole, rispetto alla distanza solare degli altri pianeti, otteniamo la serie seguente:

☿	♀	♁	♂	♃	♄
0,4	0,7	1	1,5	5,2	9,5

Ora disse Tizio: « dividendo la distanza del pianeta Saturno in cento parti uguali, troveremo che quella di Mercurio abbraccia 4 di queste parti, quella di Venere $4 + 3 = 7$ della Terra $4 + 6 = 10$; quella di Marte $4 + 12 = 16$. — Dal pianeta Marte fino a Giove la proporzione mostra una lacuna;[1] nello spazio cioè, corrispondente alla distanza di

(1) La stessa lacuna fu già notata da Keppler. (Op. omn. I, 107).

Digitized by Google

$4 + 24 = 28$, per ora non si conosce nessun pianeta (grande o piccolo che sia). — Come mai sarebbe possibile che il Creatore abbia lasciato vuoto questo spazio? Non può essere. — Supponiamo dunque che esso sia occupato dai *Satelliti di Marte* finora sconosciuti; aggiungiamo pure che anche Giove ne abbia ancora qualcheduno di cotali satelliti, non ancora scoperti dai nostri telescopi. — Continuando poi la serie, alla distanza $4 + 48 = 52$ incontriamo il pianeta Giove; a quella finalmente che corrisponde ai numeri $4 + 96 = 100$ troviamo Saturno. Che stupenda proporzione»! Fin qui il Tietz.

405. — Raccogliendo i numeri della serie di Titius in uno specchietto, abbiamo le quattro seguenti espressioni della medesima:

	☿	♀	♁	♂	(?)
I	4	$4 + 3$	$4 + 6$	$4 + 12$	$4 + 24$
II	$4 + 3.0$	$4 + 3.1$	$4 + 3.2$	$4 + 3.4$	$4 + 3.8$
III	$4 + 3.0$	$4 + 3.1$	$4 + 3.2$	$4 + 3.2^2$	$4 + 3.2^3$
IV	4	7	10	16	28

	♃	♄
I	$4 + 48$	$4 + 96$
II	$4 + 3.16$	$4 + 3.32$
III	$4 + 3.2^4$	$4 + 3.2^5$
IV	52	100

Moltiplicando la serie del num. 404 per dieci, abbiamo

☿	♀	♁	♂	♃	♄
4	7	10	15	52	95

i quali numeri, confrontati con quelli risultanti dalla serie di Titius (IV), mostrano invero una sorprendente approssimazione. La serie stessa, supponendo empita la lacuna tra ♂ e ♃, da noi segnata col segno (?), e lasciando fuori il pianeta ☿,[1] tro-

(1) Applicando la formola generale a questo pianeta, si avrebbe

$$D_{☿} = 4 + 3.2^{-1} = 4 + 3 \cdot \frac{1}{2} = 5{,}5;$$

il qual valore, benchè in apparenza poco differente dal vero (4), supera questo nondimeno quasi di un terzo.

Ad onta di codesto difetto la serie acquistò una certa celebrità dalla pubblicazione che ne fece il Bode (1772), astronomo di Berlino; donde viene anche citata talvolta come «serie di Bode».

Digitized by Google

verebbe una bella espressione matematica assai semplice nella seguente formola generale (cfr. III):

$$D = 4 + 3 \cdot 2^n$$

nella quale D indica la distanza (media) di un pianeta qualunque, n il numero di successione, cominciando da ☿ ($n = 0$); essendo allora ♁ ($n = 1$), ♂ ($n = 2$), ♃ ($n = 4$), ♄ ($n = 5$).

406. — Continuando la serie oltre Saturno, per un pianeta seguente si avrebbe la distanza $4 + 3 \cdot 2^6 = 4 + 3 \cdot 64 = 196$, Difatti nel 1781 Herschel scoprì per mezzo del suo grande cannocchiale (n. 180) un nuovo pianeta oltresaturnino, quale dietro proposta di Bode ricevette il nome di **Urano** col segno rispettivo (♅) di Urania (Οὐρανία, dea celeste). (1) Questo nuovo pianeta, governato secondo le leggi di Keplero e Newton, sembrò anch'esso sottomettersi alla legge di Titius; poichè calcolata la orbita, si trovò per la sua distanza (media) il numero 191,8, poco differente da quello di Tietz (196,0),

La mancante perfezione di coincidenza tra la teorica e l'osservazione stimolò non pochi, a perfezionare la detta legge. L'astronomo tedesco Wurm sostituì ai numeri semplici di Titius $(4 + 3)$ i numeri più grandi $387 + 293$; dividendo cioè la nota distanza di Mercurio in 387 parti uguali, prese per unità di misura la parte così ottenuta, formandone la serie seguente:

☿	☿	♁	♂
$387 + 293.0$	$387 + 293.1$	$387 + 293.2$	$387 + 293.4$
387	680	973	1559
(?)	♃	♄	♅
$387 + 293.8$	$387 + 293.16$	$387 + 293.32$	$387 + 293.64$
2731	5075	9763	19139

(1) Herschel, osservando una stella, che nel telescopio si presentava confusamente come un disco nebuloso, credette prima d'aver scoperto una cometa. Osservando gli spostamenti per qualche tempo, si potè calcolare l'orbita, la quale secondo Lexell e Laplace era pressochè circolare, donde appariva la natura planetaria del nuovo astro. Il nome proposto da Herschel di « *Sidus Georgium* » (in onore di Giorgio III, re d'Inghilterra) trovò poca approvazione.

Digitized by Google

Dividendo i numeri così ottenuti per 97 avremo:

☿	♀	♁	♂	(?)	♃	♄	♅
4	7,1	10	16,1	28,2	52,3	100,6	197,3

ossia dividendo per 970

0,4	0,7	1	1,6	(2,8)	5,2	9,5	(19,7)

la quale rappresenta approssimativamente la vera distanza data di sopra (num. 404).

407. — Benchè le serie suddette non rappresentino una formola matematica rigorosa, nondimeno la grande approssimazione al vero confermò sempre più la persuasione generale degli astronomi, che in quella lacuna, da noi notata con (?), doveva essere qualche pianeta ancora da scoprirsi. Verso la fine del sec. XVIII si formò una società di 24 astronomi, sotto la direzione di Zach e Schröter, la quale si propose di perlustrare e sorvegliare sistematicamente le regioni eclitticali del cielo, per scoprire finalmente il desiderato pianeta.

Prima però, che la detta società avesse cominciato i suoi lavori, l'astronomo di Palermo PIAZZI (Teatino) scoprì nella prima notte del nuovo secolo, cioè il 1° gennaio 1801, il pianeta cotanto ricercato, il quale ricevette il nome di **Cerere** (lat. *Ceres*).[1] Era un pianetino, appena visibile ad occhio nudo,

(1) Piazzi faceva delle osservazioni meridiane, per comporre un nuovo catalogo di stelle. In quella notte notò una stelletta di ottava grandezza, non notata nel catalogo di La Caille. Volendo il giorno seguente accertare la posizione esatta della stelletta, vide con non piccola maraviglia, che questa era diversa da quella notata la notte precedente. Dubitando che fosse stato commesso un errore in una delle misure, ripeteva le medesime la sera seguente, verificando invece nuovi spostamenti. Piazzi credeva, di aver scoperto una cometa; soltanto quando altri astronomi (Bode, ecc.) ebbero dato il loro parere in favore del ricercato pianeta tra Marte e Giove, Piazzi gli diede il nome di Ceres. — Ma intanto l'asteroide si era perduto nei raggi solari, e forse sarebbe stato perduto per molti anni, se il celebre matematico Gauss (con una nuova teoria) non avesse calcolato dalle poche osservazioni di Piazzi l'orbita con tanta precisione che il pianetino fu tosto ritrovato (7 dicembre 1801) dall'astronomo Zach. Secondo questo calcolo, esprimendo la distanza media di Ceres dal Sole nell' unità di Titius, ad essa conveniva il numero 27,68 in eccellente armonia col numero teorico 28.

Digitized by Google

l'orbita del quale veramente trovavasi tra i pianeti Marte e Giove. L'astro nuovo, per la sua piccolezza, anche nel telescopio appariva come un punto, più simile ad una stella fissa, che ad un pianeta, donde fu anche chiamato *Asteroide* (ἀστεροειδής).[1]

408. — Cerere non rimase sola. Tosto seguirono altre scoperte: Olbers scoprì nel 1802 **Pallade** (*Pallas*), Harding nel 1804 **Giunone** (*Iuno*), Olbers nello stesso anno **Vesta.** Tutti questi asteroidi girano nella stessa zona tra Marte e Giove.

Una nuova serie di scoperte di simili asteroidi (tutti situati in quella lacuna tra Marte e Giove) seguì dall'anno 1845 in poi, cosicchè il numero dei medesimi fino al 1855 arrivò a 37, col 1865 a 85, col 1875 a 157, col 1885 a 253, col 1895 a circa 400. Alla fine del 1900, cioè nello spazio del secolo XIX il numero dei pianetini scoperti era salito a 456. Il pianetino, che ricevette il numero (500), fu scoperto il 16 gennaio 1903. In conseguenza dei nuovi metodi fotografici, il numero va sempre più aumentando.[2]

Ora tutti questi pianeti minuscoli si regolano nel loro giro intorno al Sole secondo le leggi di Keplero e secondo la gravitazione newtoniana, formando così un bel numero di testimoni in comprovazione delle teorie esposte. La loro zona vedesi indicata nella figura 221, che rappresenta tutto il sistema planetario, compreso nell'orbita di Giove (♃). Degli asteroidi sono riprodotte soltanto le proiezioni (sull'eclittica) delle orbite di Cerere (1), Pallade (2), Giunone (3), Vesta (4), Flora (8), Igea (10), Eufrosine (31). Tutti i pianeti girano nello stesso senso; le orbite, che nelle loro proiezioni sembrano intersecarsi, in realtà lasciano abbastanza spazio al passaggio scambievole, a cagione delle varie inclinazioni col piano dell'eclittica.

(1) Il nome viene applicato a tutta la classe dei pianetini tra Marte e Giove. Altri adoperano per simile ragione il nome di *pianetoidi.*

(2) Il numero stragrande degli asteroidi rese impossibile, di inventare per ciascuno un simbolo particolare. Volendo indicare uno di essi, si adopera come segno il numero rispettivo (secondo l'ordine della scoperta accertata) circondato da un cerchietto, per esempio, Ceres (1), Pallas (2), Iuno (3), Vesta (4), Astrea (5), Flora (8), Igea (10), Eufrosine (31). La figura 223, rappresentante una proiezione sull'Eclittica del sistema planetario (o solare) fino all'orbita di Giove, dà un'idea del raggruppamento delle orbite di queste ultime stellette tra quella di Marte e quella di Giove. Altri particolari ci riserviamo per un luogo più opportuno.

Digitized by Google

409. — Appena era ricominciata l'epoca nuova delle scoperte degli asteroidi, che un altro trionfo dell'Astromeccanica fu segnalato colla scoperta di un pianeta nuovo oltre l'orbita di Urano.

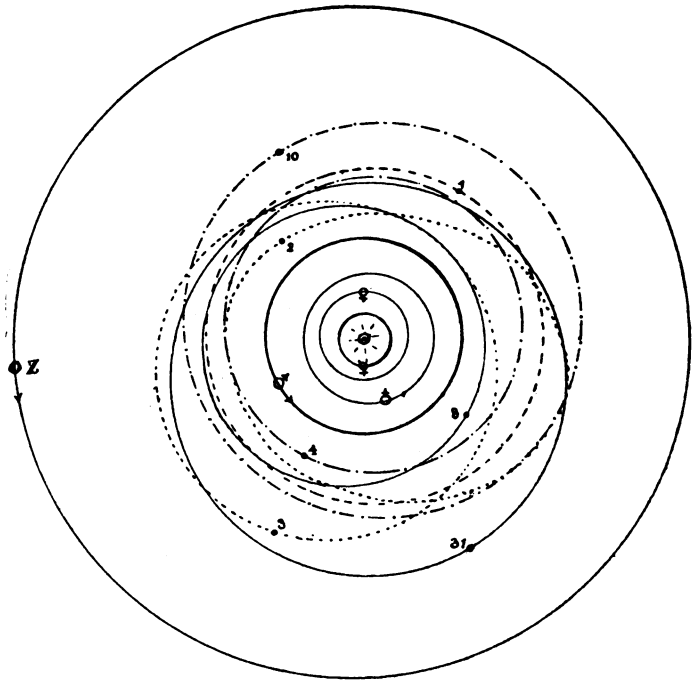


Fig. 221. Sistema planetario fino all'orbita di Giove.

Secondo la legge della gravitazione universale, tutti i corpi celesti si attraggono scambievolmente in ragione diretta delle loro masse. La preponderanza della massa solare fa scomparire sensibilmente l'attrazione delle masse secondarie. Ma non sarà più così se due pianeti di massa considerevole, molto distanti dal Sole, si avvicinano assai nelle loro orbite; allora l'orbita dell'uno sarà un po' sturbata dall'altro.

Ora questo era precisamente il caso tra *Urano* ed il pianeta dipoi scoperto, al quale fu dato il nome di **Nettuno.**

Digitized by Google

Urano cioè non descriveva esattamente e nettamente l'ellisse voluta dalla legge kepleriana, ma presentava dei piccoli turbamenti, i quali probabilmente provenivano da un corpo celeste al di là di Urano. I calcoli fatti allo stesso tempo indipendentemente

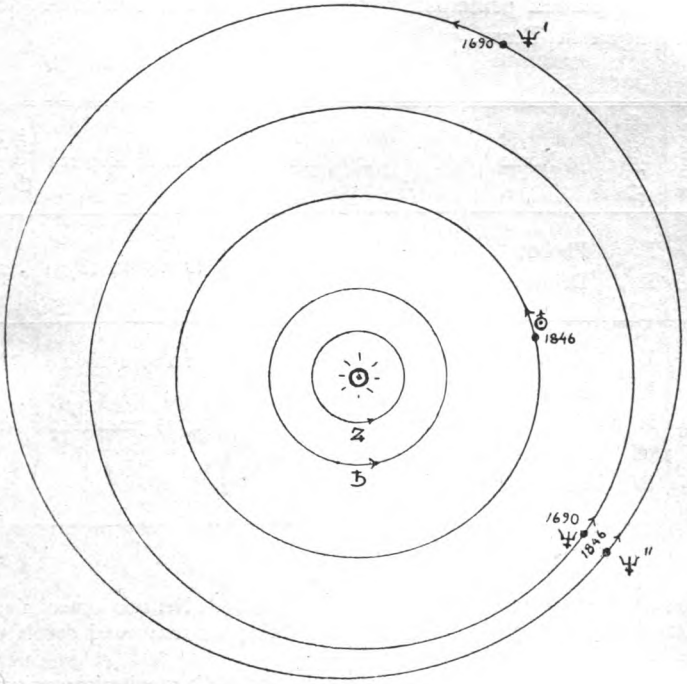


Fig. 222. Sistema dei quattro ultimi pianeti.

dall'astronomo francese *Leverrier* e dall'inglese *Adams*, assegnavano il luogo ♆″ (Fig. 222), dove era da cercarsi il pianeta perturbatore. Leverrier notificò la posizione calcolata all'osservatorio di Berlino, dove poi il *Galle,* coll'aiuto delle nuove carte eclitticali, trovò l'oggetto indicato lo stesso giorno 23 settembre 1846, nel quale ricevette la lettera di Leverrier.[1]

(1) Fatta e pubblicata la scoperta, l'astronomo Airy di Greenwich riconobbe, che dietro i calcoli di Adams egli avea già osservato il nuovo pianeta fin dal mese di agosto, senza però riconoscerlo qual tale, a ca-

Digitized by Google

La figura 222 (con scala diminuita) mostra le proporzioni ed il posto dei quattro ultimi pianeti ♃, ♄, ♅, ♆, giranti intorno al Sole.

410. — Concludiamo con una semplice enumerazione dei pianeti secondari, cioè dei **Satelliti,** i quali accompagnano i pianeti principali rispettivi, come la nostra Luna accompagna la Terra.

Pianeta	Vicinanza	Nome	Scopritore	Data di scoperta	Ordine cronolog.
♂	I	Phobos	Asaph Hall	12 agosto 1877	12
	II	Deimos			
♃	V	(Nuovo)	E. E. Barnard	10 sett. 1892	13
	I	Io	Galileo Galilei	7,(13) genn. 1610	1
	II	Europa			
	III	Ganymedes	[S. Mayer (Marius)]		
	IV	Callisto			

gione dello spostamento appena percettibile, essendo Nettuno lontanissimo (4429,6 e 4505,5 milioni di chilom.) dal Sole; distanza quasi doppia di quella di Urano.

Nei calcoli, fondati interamente sulla legge della gravitazione universale, anche la legge di Titius ha veramente fatto dei buoni servizi, potendosi fare senz'altro una probabile supposizione sulla distanza del pianeta da scoprirsi. Trovato il pianeta, e calcolata tutta l'orbita, si vide però, che la distanza (media) calcolata, di circa 4471 milioni di chilometri, era assai differente da quella voluta dalla serie Tiziana, cioè di 5502 milioni, lasciando una differenza di 1031 milioni di chilometri. Nella figura 222 abbiamo aggiunto l'orbita calcolata di Nettuno (♆′ ♆″) indicando insieme le posizioni differenti negli anni 1690 e 1846, tanto nell'orbita vera (♆), quanto in quella calcolata; si vede che coll'andar degli anni le due posizioni sarebbero state assai discordanti; mentre il pianeta (♆) nell'orbita vera compiva una rivoluzione intera dal 1690 al 1846, nell'orbita calcolata restava tutto lo spazio ♆″ ♆′ a percorrere; segno, evidente, che la legge di Titius non è un' espressione fedele dello stato delle cose.

Digitized by Google

Pianeta	Vicinanza	Nome	Scopritore	Data di scaperta	Ordine cronolog.
♄	I	Mimas	William Herschel	17 sett. 1789	8
	II	Enceladus		28 agosto 1789	7
	III	Tethys	Domenico Cassini	21 marzo 1684	5
	IV	Dione			
	V	Rhea		23 dicembre 1672	4
	VI	Titanus	Cristiano Huygens	25 marzo 1658	2
	VII	Hyperion	W. C. Bond (Lassell)	16,(18) sett. 1848	10
	VIII	Japetus	Dom. Cassini	25 ottobre 1671	3
	IX	Phoebe	William H. Pickering	18 marzo 1898	14
♅	I	Ariel	William Lasseii	24 ottobre 1851	11
	II	Umbriel			
	III	Titania	William Herschel	11 gennaio 1787	6
	IV	Oberon			
♆	I	. . .	William Lassell	10 ottobre 1846	9

Digitized by Google

PARTE SECONDA

MOTI PLANETARI DELLA TERRA

411. — Il concetto di una Terra isolata e sospesa nello spazio, come vedemmo nella parte precedente, non si fece strada che assai tardi nelle menti umane. Più difficilmente ancora l'intelletto umano arrivò a concepire il globo nostro terraqueo librato sopra se stesso, popolato da abitanti in tutti i paesi, rotante nondimeno in ventiquattro ore intorno ad un asse proprio, e dotato d'un velocissimo moto traslatorio intorno all'astro centrale nel periodo di un solo anno. Sembrava cosa impossibile, il disfarsi dell'illusione, confermata da una tradizione antichissima, di immaginare la nostra Terra come il centro immobile di tutto l'universo; dall'altra parte pareva cosa incredibile, ammettere quelle distanze immense nello spazio interstellare, come le supponeva il sistema copernicano.(1)

412. — Gli studi e le scoperte di un Copernico, Keplero, Galileo e Newton avevano dissipato un grande numero di pregiudizi, che esistevano da secoli nelle menti non soltanto del volgo, ma degli stessi scienziati. Il materiale, accumulato per una prova definitiva e perentoria, era tanto, specialmente dopo la scoperta della gravitazione universale, che il sistema eliocentrico senza dubbio sarebbe stato ammesso da tutti, se le ragioni contrarie fossero state ricercate solamente nel campo delle scienze naturali. Per dissipare anche le difficoltà, insorte dal preteso conflitto con altri principii, ci volevano delle prove assolute ed indubitate; ma anche queste furono poi trovate, come vedremo nei seguenti capitoli.

(1) Se la terra girava intorno al Sole, senza che le stelle perciò mostrassero spostamento veruno, era conseguenza legittima di ammettere, che la distanza di esse fosse tale, che non soltanto il diametro terrestre (num. 306), ma tutto il diametro dell'orbita terrestre, cioè una linea di circa 300 milioni di chilometri, veduta da tale distanza, apparisse come un punto, ossia senza estensione veruna.

Digitized by Google

CAPITOLO I.

PROVE PER LA ROTAZIONE DIURNA DELLA TERRA INTORNO AD UN ASSE PROPRIO

ART. I. — ARGOMENTI DEDOTTI DALLA VARIAZIONE DEL PENDOLO E DAL GIROSCOPIO.

413. — Deviazione del pendolo. – Benchè questa prova sia cronologicamente una delle ultime, stabilita cioè nel 1851 dal noto scienziato francese Leone Foucault, nondimeno, a cagione della sua forza dimostrativa, abbastanza facile e popolare, merita il primo posto tra le altre.

PP′ (Fig. 223) sia un pendolo, ossia un semplice filo a piombo, sospeso in P perpendicolarmente al disopra del centro O di un circolo graduato (d'una bussola S N). Se portiamo il peso, col filo sempre teso, fuori della direzione perpendicolare PO in quella PS, lasciandolo poi liberamente ricadere verso O, esso, oltrepassando O fino ad N, comincierà ad oscillare nel piano determinato dai tre punti S P O. Queste oscillazioni durano per un certo tempo, cosicchè possiamo girare tutto l'apparecchio con l'arco di sospensione S P N intorno alla perpendicolare P O, senza che perciò il piano di oscillazione venga alterato. Siccome un ago magnetico libero SN, ad onta del girare del circolo graduato, ritiene la sua direzione Nord–Sud, così farà pure il detto piano di oscillazione. Se da principio lo facciamo coincidere col meridiano (magnetico), esso rimane in coincidenza col medesimo, benchè le divisioni del cerchio sottostante, insieme coll'arco di sospensione, percorrano tutti gli azimut, e si mettano quindi successivamente in coincidenza colla direzione dell'ago magnetico.

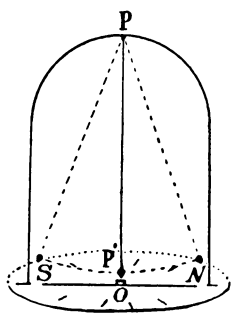


Fig. 223.

414. — Questo sperimento, che può farsi con un apparecchio di piccole dimensioni, può riprodursi con effetto più sen-

Digitized by Google

sibile, adoperando un peso assai più grande, attaccato ad un filo abbastanza lungo. Allora le oscillazioni durano per lungo tempo, per parecchie ore; di più, lo spostamento dell'apparato di sospensione, nel primo caso fatto artificialmente, viene riprodotto dalla Terra stessa, girante intorno ad un asse proprio. Cioè, se un tal pendolo, oscillante per più ore intere, non mostrasse spostamento azimutale veruno, rispetto agli oggetti terrestri circostanti, questo fatto solo proverebbe che la Terra sta ferma; se invece il pendolo si sposta realmente, e se inoltre lo spostamento viene fatto sempre nello stesso senso (contrario alla supposta rotazione terrestre, cioè da Est verso Ovest); se finalmente i gradi percorsi dipendono dalla latitudine geografica del luogo, dove si fa l'esperienza, avremo con ciò una prova evidente e palpabile per la rotazione vera e reale della Terra.

415. — Esaminiamo perciò prima i due casi di un pendolo oscillante al polo ed all'equatore della Terra. Al polo avremo precisamente il caso indicato di sopra ed illustrato dalla figura 223. La Terra stessa forma allora un grandioso apparecchio di sospensione; la rotazione della medesima produrrà il girare di questo intorno alla verticale P O. Conseguentemente in un giorno intero il piano di oscillazione dovrà percorrere tutti gli azimut, dovrà successivamente dirigersi verso i varii oggetti terrestri circostanti, percorrendo in ciascun'ora un angolo azimutale di 15°, da Est verso Ovest. Ora gli sperimenti fatti provano che è veramente così; dunque la Terra ruota intorno all'asse suo.

La prova viene confermata da ciò, che osservasi all'Equatore della Terra. Ivi il piano di oscillazione relativamente agli oggetti terrestri circostanti rimane invariato. E deve essere così, perchè ivi non soltanto il pendolo, oscillante (per esempio) nel piano dell'equatore stesso, conserva il suo piano di oscillazione, ma anche il piano dell'equatore ritiene la stessa posizione nello spazio.

416. — Le due osservazioni descritte bastano, per dimostrare perentoriamente la rotazione della Terra; poichè altra spiegazione non ammettono. È vero, che al polo stesso della Terra non si è potuto fare l'esperimento, ma basta anche la sola vicinanza; anzi il medesimo può riprodursi ad una latitudine geografica qualunque. Dimostrano cioè i fisici mate-

Digitized by Google

matici, che l'apparente spostamento azimutale (s) del pendolo, il quale è nullo all'equatore terrestre ed arriva invece a 360° in 24 ore al polo terrestre, deve essere proporzionale al seno della latitudine geografica (φ) del luogo dove oscilla; cioè

$$s : s' = \operatorname{sen}\varphi : \operatorname{sen}\varphi'.$$

Confrontando così lo spostamento orario (s) prodotto in Roma, dove $\varphi = 42°$, con quello del polo, dove $\varphi' = 90°$ ed $s' = 15°$, essendo $\operatorname{sen}\varphi' = 1$, avremo

$$s = \frac{\operatorname{sen}\varphi\, 15°}{\operatorname{sen}\varphi'} = \operatorname{sen}\varphi\, 15° = \frac{2}{3}\cdot 15° = 10°$$

417. — Per dare una breve prova dell'accennata proposizione, il circolo EPQP' (Fig. 224) rappresenti un meridiano terrestre. PP' sia l'asse di rotazione, EQ una sezione equatoriale. La latitudine geografica, ossia l'altezza polare, di un punto R è indicata dall'angolo $ROQ = POH = \varphi$. Il semiasse OP rappresenti allo stesso tempo la velocità angolare, con la quale tutti i punti della superficie terrestre, eccettuati P e P', girano intorno all'asse PP'. Considerando OP come la risultante di più assi componenti di rotazione (secondo un noto problema di meccanica) quest'asse risultante può essere decomposto in due assi componenti, uno nella direzione OR (del punto dato R), l'altro in direzione perpendicolare ad OR (cioè $OH \perp OR$). Calando da P le due perpendicolari $PA \perp OH$ e $PB \perp OR$, la velocità angolare, colla quale i punti del globo girano intorno a questi assi componenti, sarà rappresentata rispettivamente da OA ed OB.

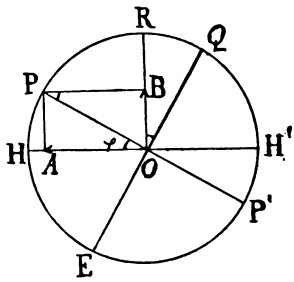


Fig. 224.

Rispetto all'asse componente OA, il punto R è un punto equatoriale, quindi la rotazione particolare intorno ad OH non produce ivi spostamento veruno nel pendolo; rispetto all'asse OB

Digitized by Google

invece R trovasi nelle condizioni del polo di rotazione, cioè si sperimenterà tutta la rotazione intera dovuta ad O B; siccome poi O B = O P sen φ, risulta che lo spostamento ad una latitudine qualunque sarà quello d'un pendolo sospeso al polo della Terra moltiplicato per il seno della latitudine geografica del luogo di osservazione.[1] L'espressione matematica è dunque contenuta nella formola

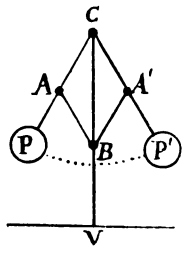


Fig. 225.

$$s : s' = \text{sen } \varphi : \text{sen } \varphi'.$$

418. — Il pendolo conico (Fig. 225), a cagione della variazione osservata nel numero de' suoi giri, può servire di conferma della rotazione terrestre. Esso consiste in due palle uguali (P = P'), fissate all'estremità di due aste C A e C A', concor-

(1) Per non allontanarci troppo dalla questione che ci occupa presentemente, non entriamo qui in altri dettagli, per spiegare varie piccole irregolarità, osservate nelle esperienze fatte. Il fatto principale dell'accennata deviazione del pendolo era stato osservato fino dal tempo di Galilei; « *Osservammo* (così notò il discepolo di Galilei, Viviani, nel suo libro di osservazioni), *che tutti i pendoli da un sol filo deviano dal piano verticale, e sempre per il medesimo verso* » nessuno però, fino ai giorni nostri, ne traeva la legittima conseguenza. Il primo esperimento in grande scala fu fatto dal Foucault nèl Pantheon di Parigi nel 1851, e nell'anno scorso (1902) si è celebrato il cinquantesimo anniversario dell'avvenimento con una ripetizione della medesima esperienza nello stesso luogo.

Un filo metallico (senza torsione) lungo circa 18 metri, portava all'estremità inferiore una palla di rame di 30 chilogrammi. Ad ogni oscillazione, cioè dall'escursione massima da un lato fino a quella dell'altro, passavano circa 8 secondi. Piccoli monticelli di sabbia, messi tutti intorno, venivano successivamente distrutti da una punta fissata sotto la palla. Per evitare spinte false laterali nel primo impulso, la palla era legata con un filo alla ringhiera circostante; bruciato il filo al momento dato, la palla, sollecitata dalla sola attrazione terrestre, si mise in moto. La sospensione era tale, che il filo indifferentemente e colla stessa facilità poteva oscillare in tutti gli azimut. (Speciali precauzioni ci vogliono in simili esperienze contro una possibile rottura del filo, il quale altrimenti potrebbe nella caduta cagionare dei gravi inconvenienti agli spettatori).

L'esperienza fu ripetuta nello stesso anno (1851) in Roma dal P. Secchi nella chiesa di S. Ignazio. Altri la fecero in diversissimi punti del globo, e dappertutto fu riconosciuta, anche dai più increduli, la prova palpabile della rotazione della terra.

Digitized by Google

renti nel punto C; altre due asticelle B A e B A′ fanno capo in un anello B, mobile sull'asse verticale C V, formando colle due anzidette un rombo C A B A′, articolato ai quattro vertici. Rotando tutto l'apparecchio intorno all'asse verticale C V, le due palle, in conseguenza della forza centrifuga, si allontanano tanto più da C V, quanto è maggiore la loro velocità angolare. Se la forza motrice, che fa girare le due palle, rimane costante, anche questa velocità dovrebbe essere costante, cioè il numero dei giri fatti in un dato tempo (*ceteris paribus*) dovrebbe sempre rimanere lo stesso; cosa che può facilmente constatarsi, mettendo il pendolo conico (o regolatore) in comunicazione con un roteggio di orologeria.

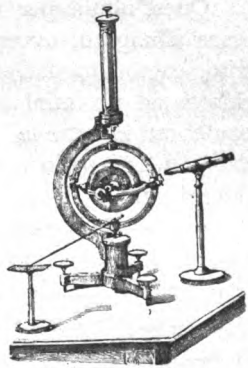


Fig. 226.

419. — Ora si osserva, che il detto numero mostra una certa disuguaglianza, secondochè le palle P e P′ girano in un senso, ovvero in senso contrario. La ragione di questa variazione trovasi nella rotazione della Terra. Siccome nel caso del pendolo ordinario si spostava apparentemente il piano di oscillazione intorno alla verticale, così qui si sposta il piano verticale, dal quale si comincia a contare i giri. Se le palle girano nello stesso senso, il termine della rivoluzione avanza e quindi il tempo delle singole rivoluzioni viene allungato con questo spostamento; se invece girano in senso contrario, lo spostamento accorcia i singoli periodi di rivoluzione.(1)

420. — **Il giroscopio** (Fig. 226) è un apparato, inventato dallo stesso Foucault, per dimostrare la rotazione della Terra, anzi per farla vedere in una maniera assai facile. Un anello massiccio (toro) per mezzo di un disco sottile è congiunto con un asse di rotazione, il quale è impernato in un secondo

(1) Nell'emisfero boreale la rotazione del pendolo fatta nel senso degli indici d'un orologio (supposto l'occhio in C) allunga i periodi; una rotazione contraria li accorcia. Se un tal apparecchio, conservando lo stesso senso di rotazione venisse trasportato, da un luogo boreale ad un altro dell'emisfero australe, della medesima latitudine geografica, la differenza sarebbe la stessa, ma di segno contrario.

Digitized by Google

anello (posto orizzontalmente nella nostra figura). Anche questo anello è fornito di due perni diametralmente opposti, che costituiscono un asse di rotazione, perpendicolare al primo. Un terzo anello (verticale) sospeso ad un filo ed appoggiato con una punta sul treppiede, può liberamente girare intorno alla verticale, sostenendo allo stesso tempo l'asse del precedente anello. Tre viti del piedestallo permettono di collocare l'apparato in modo tale, che il detto punto d'appoggio coincida perfettamente colla direzione della verticale, determinata dal filo di sospensione.

Quest'ultimo per mezzo della vite, che vedesi in cima, può esser allungato, ovvero accorciato a piacimento, cosicchè l'attrito, cagionato dall'appoggio di tutto il sistema anulare, sia ridotto ad un minimo. Il toro e gli anelli, scrupolosamente equilibrati in tutte le loro parti, restano in qualunque posizione, dáta ad essi dallo sperimentatore, finchè una nuova forza sopraggiunta, anche leggerissima, non venga a spostarli.

421. — Se si comunica una grande velocità di rotazione al toro, il suo asse non soltanto per la legge d'inerzia mantiene la posizione datagli, ma per la quantità di moto ricevuto offre anche una certa resistenza alle cause, che tendono a modificare la sua direzione nello spazio. Collocando quindi l'asse orizzontalmente, parallelo al meridiano, esso mantiene costante la sua direzione (come il pendolo oscillante), mentre la linea meridiana terrestre si sposta a cagione della rotazione terrestre. Un indice, portato dall'ultimo anello, permette di osservare esattamente lo spostamento azimutale dell'asse (anche da lontano, per mezzo di un piccolo cannocchiale che vedesi a destra della figura). Del resto la teoria dello spostamento è del tutto analoga a quella del pendolo. Il giroscopio ha soltanto il vantaggio sopra quello, che può essere costruito in dimensioni relativamente piccole, e quindi essere facilmente trasportato da un luogo all'altro.

ART. II. — PROVE DEDOTTE DALLA FORZA CENTRIFUGA, SVILUPPATA NELLA ROTAZIONE DELLA TERRA.

422. — Variazione della gravità nelle varie latitutini. Se la Terra (Fig. 227) si rivolge veramente nello spazio di 24 ore intorno all'asse proprio NS, tutti i punti (E, Q, A,

Digitized by Google

A′, B, B′) della superficie (eccettuati i soli poli N ed S) descrivono circoli paralleli intorno al medesimo, i raggi dei quali ($AC = BC = r$, $A'C' = B'C' = r'$) vengono espressi dal raggio equatoriale R, moltiplicato pel coseno della latitudine geografica; cioè

$$r = R \cos \varphi \; ; \quad r' = R \cos \varphi' \; ; \quad \text{ecc.}$$

L'accelerazione della forza centrifuga f, sviluppata per la rotazione circolare di un mobile (A) intorno ad un centro fisso C, viene espressa dalla formola

$$f = \frac{v^2}{r}$$

nella quale v significa la velocità lineare del mobile, r il raggio del circolo rispettivo. Indicando con t il tempo di una rivoluzione intera, sarà

$$v = \frac{2 r \pi}{t} \; ; \qquad \text{quindi} \qquad f = \frac{4 r \pi^2}{t^2} \; .$$

Per un altro punto A′ avremo

$$f' = \frac{4 r' \pi^2}{t^2} \; ;$$

dunque

$$f : f' = r : r' = \cos \varphi : \cos \varphi' \quad (1)$$

Cioè, la forza centrifuga sviluppata nella rotazione terrestre in varii punti della superficie, sta in ragione diretta del coseno della latitudine geografica; sarà quindi massima all'equatore EQ, minima (anzi nulla) ai poli N ed S.[1]

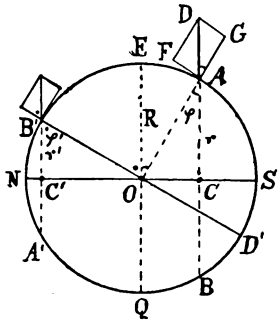


Fig. 227.

(1) La gravità sola (senza diminuzione) darebbe ad un corpo, cadente alla superficie terrestre, un'accelerazione di 9,8 metri ogni minuto secondo; osservando quindi la caduta dei gravi nelle varie latitudini, si può accertare facilmente la detta diminuzione.

Per la rotazione terrestre un punto equatoriale percorre ogni secondo metri 465; alla latitudine di 10°, metri 458; di 20°, metri 437; di 30°, metri 403; di 40°, metri 357; di 50°, metri 300; di 60°, metri 234; di 70°, metri 160; di 80°, metri 81.

Digitized by Google

423. — La forza centrifuga, come indica lo stesso nome, tende ad allontanare un mobile dal centro del circolo descritto, agendo però sempre nel medesimo piano. All'equatore E la direzione della forza centrifuga è direttamente opposta a quella della forza della gravità, ossia dell'attrazione terrestre (che può concepirsi come condensata nel centro stesso O); nelle latitudini intermedie invece (per es. in A), le direzioni di queste due forze fanno un angolo ($\measuredangle DAG = \varphi$). La forza centrifuga, rappresentata da una linea retta qualunque ($AD = f$), può quindi essere decomposta in due componenti, una ($AG = d$) direttamente opposta alla direzione AO della gravità terrestre, l'altra AF perpendicolare ad AG. La prima sola diminuisce l'effetto della gravità, la seconda tende a trasportare il punto rispettivo verso l'equatore. La diminuzione in A, ossia in B, sarà dunque espressa dalla formola $d = f \cos\varphi$; quella in A′, ovvero in B′, dalla formola $d' = f' \cos\varphi'$; dunque

$$d : d' = f \cos\varphi : f' \cos\varphi' = \cos^2\varphi : \cos^2\varphi'. \qquad (2)$$

Cioè la diminuzione della gravità, causata dalla rotazione terrestre, sarà proporzionale al quadrato del coseno della latitudine geografica.

Ora gli esperimenti, fatti nelle varie latitudini, provano l'esistenza di tale diminuzione; dunque la Terra gira veramente intorno al suo asse.

Una prima prova sperimentale di ciò si ebbe nel 1671, quando (come narrammo n. 304) l'astronomo francese J. RICHER osservò, che un pendolo trasportato da Parigi a Cajenna, compiva nello spazio di 24 ore, un numero di oscillazioni considerevolmente minore in quelle regioni equatoriali dell'America del Sud, che non a Parigi. Trovata dipoi la vera spiegazione di questo fenomeno in ciò, che la forza di gravità era veramente minore a Cajenna che a Parigi, il pendolo divenne uno strumento importante per controllare la quantità della diminuzione della detta forza nelle varie latitudini geografiche, anzi per tutti gli studi di geodesia. La nota formola

$$l = \frac{g t^2}{\pi^2}$$

indica il nesso, che esiste tra la lunghezza (l) del pendolo,

Digitized by Google

la gravità (g) ed un numero determinato di oscillazioni, fatte in un tempo (t).

424. — La figura sferoidale della Terra, messa fuori di controversia dalle misure geodetiche (num. 299), non è altro che una conseguenza della rotazione del globo terrestre, ossia della forza centrifuga, sviluppata nella medesima.

La figura (Fig. 228) rappresenta il noto apparecchio, per mezzo del quale si dimostra l'azione della forza centrifuga sopra un anello circolare flessibile. Messo in rotazione intorno ad un suo diametro D D′, l'anello prende la forma ellissoidale (indicata nella figura dalla curva punteggiata); cioè le parti più remote dall'asse di rotazione si allontanano dal medesimo, tanto più, quanto è più rapida la rotazione stessa. Le parti, più vicine all'asse di rotazione, si spostano verso il centro, formando così una depressione polare. Quello che si dimostra così con un anello solo, vale pure, se si connettono molti anelli a modo dei meridiani terrestri; vale quindi anche per un globo rotante, purchè la sua superficie abbia una certa elasticità, per poter cedere alla detta forza.

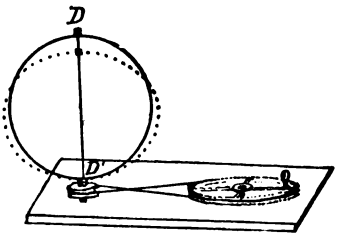


Fig. 228.

Ora i fatti geologici dimostrano, che la crosta solida della Terra, anche attualmente, ha uno spessore di circa 30 ovvero 40 chilometri soltanto; cioè la 200ma o 150ma parte del raggio terrestre; (1) dimostrano inoltre, che in tempi assai remoti, questo involucro solido, essendo ancora molto più sottile, dovette necessariamente cedere alla forza centrifuga; anzi l'ellissoide si formò prima della formazione della crosta medesima.

La cosa viene inoltre confermata dall'osservazione di altri pianeti, specialmente *Giove* e *Saturno*, i quali, girando visibil-

(1) Lo mostrano non soltanto i vulcani, che vomitano della lava liquida, tutta infocata, ma anche la temperatura che cresce continuamente colla profondità dei cavi fatti alla superficie; crescendo di circa 3° per ogni cento metri, di 30° per un chilometro; cosicchè alla profondità di 30 chilometri si troverebbe già una temperatura di circa 900°, capace di fondere la massima parte dei corpi conosciuti.

Digitized by Google

mente intorno al loro asse in un tempo più breve di 24 ore, mostrano anche una depressione polare più considerevole.(1)

ART. III. — ARGOMENTI DEDOTTI DALL'ABERRAZIONE DI VARII MOBILI DALLA LORO DIREZIONE PRECONCEPITA.

425. — La caduta dei gravi, che non presentavano nessuna deviazione dalla direzione normale, formava per lungo tempo una difficoltà insolubile contro il « preteso » moto rotatorio della Terra. Galilei la sciolse nel modo già accennato (num. 391). Considerazioni posteriori mostrarono nondimeno, che vi dovea essere qualche piccola deviazione, a cagione della rotazione terrestre, ma non nel senso, come pretendevano gli antichi avversarii, cioè non verso Ovest, ma verso Est.

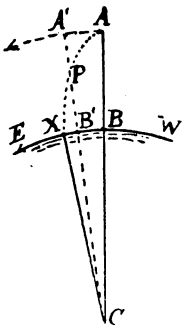


Fig. 229.

In fatti, se un grave cade da un'altezza considerevole A (Fig. 229) verso il centro della Terra C, e se prima della caduta il punto di partenza A (per es. la sommità di una torre altissima) gira colla Terra da Ovest (W) verso Est (E), l'arco A A', percorso durante il tempo della caduta, sarà maggiore dell'arco B B', descritto dal punto B, che trovasi perpendicolarmente sotto A. Quindi la velocità lineare del punto A è maggiore di quella di B.

Il grave, da A trasportato in B, conserva questa velocità preconcepita, che forma una componente del moto risultante da essa e dall'attrazione terrestre. Dunque il grave realmente non cadrà in B', ma in un punto X situato più verso Est; esso descriverà una curva parabolica A P X, per la quale vale pure la legge meccanica delle aree: cioè, l'area A P X C A sarà uguale all'area (settore circolare) A C A'.

(1) Giove, benchè il suo diametro equatoriale equivalga ad 11 diametri terrestri, compie nondimeno una rivoluzione in meno di 10 ore; la sua depressione è $1/17$; Saturno ruota intorno al suo asse in 10 ore, 16 minuti ed ha una depressione di $1/9$; mentre quella della Terra è di $1/299$ (num. 306).

Digitized by Google

Sperimenti fatti in varii luoghi hanno confermato questa teoria[1] e così la difficoltà, una volta tanto grave, con una piccola modificazione diventò un argomento favorevole. È vero però, che la prova rimane un po' microscopica, essendochè il rapporto (molto esagerato nella nostra figura)[2] tra A B e B C, praticamente è sempre poco sensibile, quindi anche la differenza tra B B′ e B X. Inoltre l'agitazione dell'aria, in un ambiente aperto, e la varia condensazione, in un ambiente chiuso, possono facilmente modificare un poco il risultato; vi rimane però sempre sufficiente evidenza per la prova del fatto della rotazione terrestre.

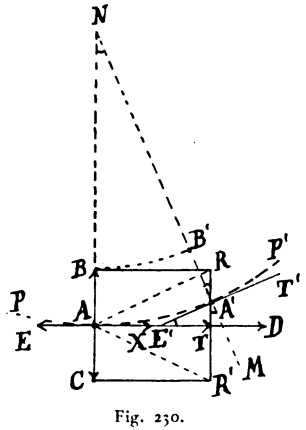


Fig. 230.

426. — Gli spostamenti orizzontali di corpi mobili alla superficie terrestre presentano anch'essi una certa deviazione, cagionata dalla rotazione della Terra.

N (Fig. 230) rappresenti il polo Nord del globo, il circolo P P′ un parallelo dell'emisferio boreale. Dal punto A un grave venga lanciato nella direzione del meridiano A N; A B rappresenti la forza di proiezione, la tangente A T la velocità lineare di A. A cagione della rotazione terrestre, il mobile percorrerà nel tempo (t) la risultante A R, diagonale del rettangolo A B R T. Durante il movimento del mobile da A in R, il punto A sarà arrivato in A′, B in B′, quindi $\measuredangle$ N A′ R denota la deviazione (verso destra di chi segue collo sguardo la direzione del moto di proiezione).

Lo stesso ragionamento vale, se il grave venga lanciato nella direzione (opposta) A C; arriverà in R′; $\measuredangle$ M A′ R′ rappresenta

(1) Specialmente quelli fatti nel 1831 dal Reich nel pozzo «Dreibrüderschacht» presso Freiberg (Sassonia), ad una profondità di più di m. 100.

(2) All'equatore, dove l'arco percorso in un dato tempo è massimo, C B è uguale a 6 377 397 metri; supponendo A B = 100 metri, risulterebbe B′ X = 3,3 centimetri. Nelle latitudini intermedie il risultato è minore, inoltre c'entra una piccola deviazione verso l'equatore, anch'essa però conseguenza della rotazione terrestre (num. 423).

Digitized by Google

in A′ la deviazione verso destra. — Se il mobile fosse lanciato nella direzione della medesima tangente A T colla stessa velocità di proiezione T D = A B, essa si aggiungerebbe a quella di A, ed il mobile, dopo il passaggio di A in A′, si troverebbe in D, verso destra dalla tangente E′ T′. Se finalmente la proiezione si facesse in senso contrario A E, il mobile arriverebbe in X, essendo A X = A T — A E. E′ A′ X misurerebbe la deviazione verso destra.

La deviazione sarà tanto minore, quanto il luogo di osservazione è più vicino all'equatore terrestre, dove diventa nulla, per passare poi piano piano ad una deviazione inversa (verso sinistra) nell'emisferio australe.

Una serie di fatti meteorologici e geofisici, come sono la deviazione delle grandi correnti del mare, il giro dei venti (cicloni), la corrosione ed il deterrimento unilaterale di grandi fiumi, perfino lo spostamento unilaterale di certe strade ferrate[1] ecc. trovano così un'adeguata spiegazione.

Insomma oggidì la rotazione della Terra è un fatto così evidente che nissuno osa più metterlo in dubbio.

Corollario. — Ristabilimento di argomenti antichi.

427. — Incredibile sarebbe **la velocità, da attribuirsi ai corpi celesti** nella supposizione di una Terra ferma in mezzo alla sfera celeste, rotante in 24 ore,[2] incredibile la forza centrifuga sviluppata, la quale, come già osservò Niccolò Copernico (num. 356), dovrebbe gettare tutti questi corpi

(1) La deviazione, osservata in Germania sulla linea ferroviaria Hamburg–Harburg, illustra il detto. La ferrovia, trovandosi pressochè nella direzione del meridiano, mostrò nello spazio di 3 mesi uno spostamento notevole (di 8 centimetri) delle guide, tra le quali i treni correvano.

(2) « Quemadmodum credibilius est caput hominis converti in auditorio, quam auditorium verti circa caput hominis immobile, sic etiam credibilius, terram rotari ab occasu in ortum, quam universam reliquam mundi machinam ab ortu in occasum ». Così scrisse Keplero (*Epit. astr.* Op. omn. VI, 169). Benchè siamo certi, che la nave si allontana dalla costa e non viceversa, nondimeno le rive sembrano retrocedere, come canta Virgilio:

Provehimur portu, terraeque urbesque recedunt.
Aen. III, 72.

Digitized by Google

nell'abisso degli spazi celesti. Oggidì conosciamo meglio la distanza delle stelle. La più vicina (α Centauri) è già tanto distante, che la luce, emanata dalla medesima, impiega 4 anni incirca a percorrere lo spazio che la separa da noi. Per altre stelle più rimote ci vogliono 10, 20... 100 e più anni. Le stelle poi non sono meri punti luminosi, ma vere masse materiali incandescenti. Ora se tutte quelle masse gigantesche nell'intervallo di 24 ore percorressero realmente uno spazio 2π volte maggiore della loro distanza, si dovrebbe dare ad esse una velocità di vera traslazione, migliaia e milioni di volte maggiore di quella della luce, la quale percorre in un minuto secondo lo spazio di 300 000 chilometri! chi può immaginarlo, chi crederlo?

428. — Un **argomento di analogia** per la rotazione della Terra poteva trovarsi nella rotazione degli altri corpi celesti che compongono il nostro sistema solare, non eccettuato lo stesso corpo centrale, il Sole stesso. Gli argomenti per la traslazione della Terra intorno al Sole, i quali sono indipendenti da quelli della rotazione, provano, che la Terra è un pianeta come Mercurio, Venere, Marte, Giove ecc. Dunque l'analogia richiede, che anch'essa giri come gli altri intorno ad un asse proprio. Anzi lo stesso periodo d'una rotazione terrestre in 24 ore ed il senso della medesima da Ovest verso Est, combinano benissimo con quelli ora ben conosciuti degli altri pianeti. — Finalmente il sistema lunare, a cagione del quale la Terra sembrava fare un'eccezione tra gli altri pianeti, secondo le scoperte finora fatte, ha le sue analogie non solamente nel caso di Giove, ma di Marte, Saturno, Urano e Nettuno!

Così vediamo come gli stessi argomenti, una volta stimati insufficienti, a provare la rotazione terrestre, coll'andare del tempo hanno acquistato nuovo vigore; mentre tutte le difficoltà, una volta mosse contro di essi, sono ora svanite interamente!

Digitized by Google

CAPITOLO II.

IL MOTO DI TRASLAZIONE DELLA TERRA INTORNO AL SOLE.

ART. I. — PROVA DEDOTTA DALL'ABERRAZIONE DELLA LUCE.

429. — La propagazione successiva della Luce. Il raggio luminoso, come sospettò già il P. Grimaldi S. J. († 1663), non si propaga istantaneamente, ma successivamente da un luogo all'altro. Una prima prova di questa verità fu trovata dall'astronomo danese Olaf Roemer, il quale osservando i satelliti di Giove (1675), notò una certa differenza periodica tra la teoria e l'osservazione. Conoscendo il periodo di un satellite S (Fig. 231), era facile di calcolare la sua immersione ed emersione (n. 275) rispetto al cono ombroso ♃C. Gli intervalli successivi tra le singole eclissi del satellite dovrebbero essere uguali. Roemer osservò che questi intervalli andavano sempre diminuendo, mentre la Terra passava da T verso T′; aumentavano invece, quando la Terra passava da T′ in T. La divergenza poi era massima presso A ed A′, minima presso T e T′.

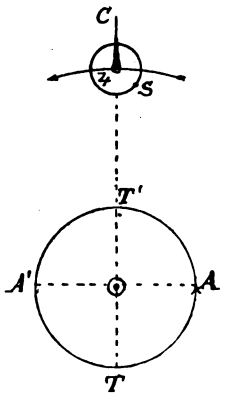


Fig. 231.

Roemer diede la spiegazione di queste variazioni, additando come causa la propagazione successiva della luce. Scemando cioè rapidamente la distanza tra ♁ e ♃ presso A, gli ultimi raggi luminosi, che annunziano la scomparsa del satellite, arrivano sempre più presto alla Terra; crescendo invece la distanza presso A′, l'annunzio arriva ogni volta più tardi. In T e T′ poi, dove la Terra conserva per un certo tempo quasi la stessa distanza, la differenza è insensibile, ossia le successive eclissi succedonsi con intervalli regolari di 42 ore, 28 minuti, 35 secondi. — Sommando le accelerazioni da una parte, ovvero i ritardi dall'altra, si ottiene la somma di 16 minuti

Digitized by Google

e 26,4 secondi, la quale indica il tempo necessario, affinchè i raggi luminosi percorrano il diametro dell'orbita terrestre.(1)

430. — Posto ciò, ne segue necessariamente un altro fenomeno, chiamato **aberrazione della luce**; cioè, se la luce d'una stella, propagandosi in linea retta, impiega un certo tempo, per arrivare al nostro occhio, noi riferiremo la stella ad un luogo, dove si trovò al principio di quel tempo, non dove sta attualmente. Di tale aberrazione relativa o apparente di un mobile qualunque dalla sua direzione primitiva, cagionata dallo spostamento dell'osservatore, vi sono molti esempi. Così un proiettile P (Fig. 232), lanciato contro una carrozza ABCD nella direzione rettilinea PX, se la carrozza sta ferma, entrerebbe in X ed uscirebbe dal lato opposto in Y; ma se la carrozza nel tempo t, impiegato dal proiettile, a percorrere lo spazio XY, si muovesse nella direzione di AB ovvero DC, cosicchè alla fine di t il punto Z sia sottentrato nel luogo di X, il punto R in quello di Y; il proiettile entrato in X, uscirebbe in R nella direzione (primitiva) RZ' || PX. Per un osservatore, seduto nella carrozza, la cosa avverebbe, come se il proiettile fosse venuto nella direzione rettilinea XR, diagonale (risultante) del rettangolo XYRZ. Astraendo cioè dal moto della carrozza, l'apparenza è tale, come se il proiettile avesse avuto un moto doppio: uno assoluto XY, l'altro relativo XZ, cioè quello della carrozza attribuitogli in senso contrario, donde risulta il moto effettivo XR. Un tubo nell'interno della carrozza, posto da X verso R, sarebbe stato percorso dalla palla in linea retta, senza urto veruno.

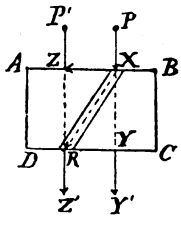


Fig. 232.

431. — Applicando ciò al caso nostro, PX rappresenti un raggio luminoso, XR la direzione di un telescopio percorso

(1) Taluno potrebbe pensare, che qui si faccia un circolo vizioso, supponendo quello che è in questione, cioè la traslazione della Terra. Roemer la supponeva davvero, e quindi vide nella sua osservazione una conferma della teoria Copernicana. Si rifletta però, che il fenomeno osservato, anche colla teoria antica degli epicicli poteva essere spiegato. Invece di dire, che la Terra (nell'orbita sua) si avvicinava al pianeta, si sarebbe detto, che Giove nel suo epiciclo si allontanava dalla Terra. Resterebbe tuttavia provata la propagazione successiva della luce, confermata dipoi con altri sperimenti ottici.

Digitized by Google

dal raggio medesimo, mentre la Terra si sposta da R in Y. Le rette P Y′, P′ Z′ indicherebbero la direzione vera, donde viene questo raggio, R X invece la direzione apparente; l'angolo Z R X = R X Y misura quindi la deviazione del medesimo, l'aberrazione della luce, dovuta al moto della Terra.

Posto ciò, per l'aberrazione della luce stellare, cagionata dal moto di traslazione della Terra intorno al Sole, ossia per lo spostamento angolare del raggio luminoso, valgono le seguenti regole: 1° che lo spostamento avviene sempre nel piano, determinato dalla tangente all'orbita terrestre e dal raggio luminoso (apparente); 2° che sarà massimo, se queste due linee formano un angolo retto, minimo (ossia nullo) se coincidono; 3° che il rapporto delle due componenti (X Y e X Z) viene determinato dal rapporto che esiste tra la velocità (V) della luce e quella (v) della Terra;[1] cioè

$$V : v = 10\,000 : 1;$$

donde si ricava per lo spostamento massimo:

$$\text{tang}\,\alpha = \text{tg}\,X\,R\,Z = \frac{X\,Z}{X\,Y} = \frac{v}{V} = \frac{1}{10\,000} = 0{,}0001;$$

ossia

$$\alpha = 20'',6$$

valore che si chiama anche semplicemente la Costante dell'aberrazione.

432. — Sarà ora facile il rendersi conto dei **varii spostamenti apparenti**, che devono verificarsi rispetto agli astri del cielo nell'ipotesi d'una Terra, mobile intorno al Sole; se poi cotali spostamenti, dedotti dalla teoria, si osservano davvero, resterà provato il moto della Terra intorno al Sole.[2]

(1) La luce percorre in numero tondo 300 000 chilometri in un minuto secondo, la Terra 30, donde risulta per la costante dell'aberrazione $\alpha = 20'',6$. Con dati più precisi si ottiene $\alpha = 20'',5$.

(2) Lo scopritore dell'argomento fu l'astronomo inglese James Bradley. Egli stesso racconta come un giorno, passando il fiume Tamigi

Digitized by Google

Consideriamo prima (Fig. 233) il caso d'una stella fissa S, che si trovi nello stesso piano dell'Eclittica, ossia dell'orbita terrestre A B C D, le frecce, tangenti all'orbita, indichino la direzione momentanea della Terra (l'*apice* del suo moto). In A lo spostamento sarà massimo $= \measuredangle \alpha$: la stella apparisce nella direzione A Σ; in B lo spostamento è nullo, in C si osserva un nuovo massimo $= \measuredangle \alpha'$ (ma in senso contrario), in D di nuovo lo spostamento è nullo.

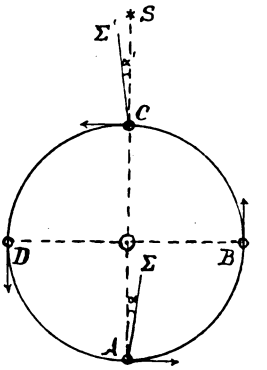


Fig. 233.

Consideriamo poi (Fig. 234) una stella S nel polo dell'eclittica ossia dell' orbita terrestre A B C D. Le frecce A E, B F, C G, D H indicano le rispettive direzioni del moto della Terra, E'A, F'B, G'C, H'D la direzione del raggio luminoso. Essendo quest'ultimo dappertutto perpendicolare al primo, il valore dello spostamento angolare rimarrà sempre lo stesso; cambia però la direzione del raggio spostato, il quale rimane sempre nel piano variabile delle rispettive componenti A E ed A E', B F e B F', ecc. Quindi in A la stella apparirà nella direzione A A', in B nella direzione B B', ecc. Sulla volta celeste la stella S si troverà

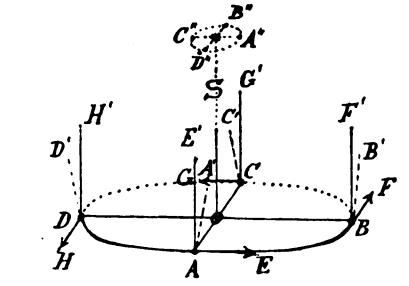


Fig. 234.

in barca, osservò che la banderuola dell'albero, la quale indicava la direzione del vento, cambiava posizione, tosto che la barca si metteva in moto; che invece riprendeva la posizione di prima, ogni volta che la barca si fermava. Riflettendo sopra questo fenomeno, venne alla conclusione, che l'alterata direzione della banderuola dovea essere la risultante del doppio movimento, cioè di quello dell'aria, spinta dal vento, e di quello della barca. Allora gli balenò nella mente l'idea, che in simile maniera potrebbero forse spiegarsi gli strani spostamenti, osservati nella stella γ Draconis, della quale ricercava lo spostamento parallattico, scoprendo quest'altro. Cfr. *Airy*, «Six lectures on Astronomy». London 1848, pag. 166. Il telescopio adoperato dal Bradley in codeste osservazioni fu un cosidetto Set-

Digitized by Google

rispettivamente nei punti A″, B″, C″, D″, descrivendo un piccolo cerchietto (immagine dell'orbita terrestre) intorno alla sua posizione vera S.

Nelle latitudini celesti intermedie questo cerchietto si proietterà in iscorcio come piccola ellisse, l'asse maggiore della quale (parallelo al piano dell'eclittica) rimane sempre invariato (2α); l'asse minore diminuirà colla latitudine, o meglio in ragione diretta del seno della latitudine; scomparisce quindi interamente, dove questo è uguale a zero (sen $0° = 0$), cioè, nel piano dell'eclittica;[1] sarà massimo per una stella nel polo dell'eclittica, dove è sensibilmente uguale all'asse maggiore (sen $90° = 1 = 2\alpha$).

Art. II. — La parallasse delle stelle prova la traslazione della Terra.

433. — Quello che sembrò fin dai tempi più remoti una difficoltà insuperabile contro un sistema eliocentrico, fu la mancanza di parallasse nelle stelle fisse. Pareva impossibile, che un'orbita così gigantesca (di un diametro di circa 300 milioni di chilometri) quale dovea essere quella della Terra, se girava intorno al Sole, non mostrasse nessuno spostamento nella posizione relativa delle stelle fisse. La soluzione data da Copernico (n. 353), secondo la quale le stelle doveano supporsi ad una distanza così immensa, che la loro parallasse fosse insensibile, a molti sembrava troppo ardita; non appoggiata da altri argomenti, pareva piuttosto troncare la difficoltà, che scioglierla; orbene, col perfezionamento degli strumenti astrometrici anche questa obbiezione spariva finalmente, anzi le poche eccezioni della supposizione copernicana, somministrarono il desiderato

tore zenitale, nel quale il circolo graduato verticale era sostituito da un settore (circolare) di un raggio di circa 7 metri, ed abbracciante soltanto un arco di 25′, che permetteva, mediante il nonio, la lettura diretta dei singoli secondi. Coll'osservare la stella soltanto allo zenit, si eliminavano senz'altro gli inconvenienti cagionati dalla rifrazione astronomica (n. 255).

(1) Il Sole (☉) trovandosi (più o meno) nel centro dell'orbita terrestre manda i suoi raggi sempre in direzione perpendicolare alla direzione della Terra, quindi per esso abbiamo sempre lo stesso massimo (α) di spostamento come in A (Fig. 233); cioè l'aberrazione diminuirà costantemente del valore α la longitudine del Sole.

Digitized by Google

argomento positivo per il moto di traslazione della Terra. Lo stesso Bradley, osservando con tanta esattezza la stella γ Draconis (n. 432), cercava veramente di scoprire la parallasse della medesima, e l'avrebbe certamente trovato, se questa stella particolare fosse stata una delle più vicine alla Terra. — Il primo invece che scoprì un vero spostamento parallattico fu **F. G. Bessel** (astronomo dell'osservatorio di Königsberg 1811-1846), il quale riuscì a determinare la parallasse (di o″,3) della stella 61 del Cigno.

434. — Supponiamo anche qui una stella S presso il polo P dell'eclittica (Fig. 235). Se questa stella è considerevolmente

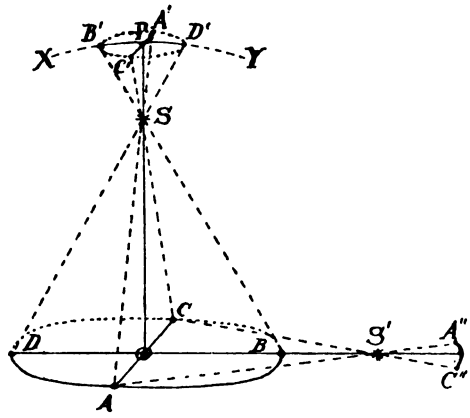


Fig. 235.

più vicina delle altre, un osservatore, trasportato colla Terra intorno al Sole (☉), la proietterà in punti diversi, per esempio da A in A′, da B in B′, da C in C′, da D in D′. Insomma, il raggio visuale A S descrive nel corso di un anno la superficie di un cono, di cui l'orbita terrestre forma la base, ed S il vertice. Il prolungamento del raggio visuale S A′ descrive un controcono, perfettamente simile al primo, col vertice comune in S, di cui la base A′ B′ C′ D′ è di nuovo un'immagine dell'orbita terrestre.

Se la stella fosse nello stesso piano dell'orbita (in S′), l'immagine si proietterebbe in iscorcio come una linea retta A″ C″. Nelle posizioni intermedie come un'ellisse, più o meno eccen-

Digitized by Google

trica.[1] Ora le osservazioni fatte confermano perfettamente questa teoria, dunque la Terra ha un vero movimento annuo intorno al Sole.[2]

È poi chiaro, che i due fenomeni, cioè quello dell'aberrazione e quello della parallasse, si sovrappongono rispetto alle stelle abbastanza vicine; cioè l'aberrazione fa descrivere alla stella un piccolo cerchietto (ellisse) intorno alla vera posizione (eliocentrica); la parallasse forma una specie di epiciclo sopra il detto cerchietto. Quello poi che rende l'argomento perentorio, si è che tutti e due questi cerchietti, non soltanto nel loro periodo annuo, ma anche nelle rispettive posizioni, rispecchiano il moto della Terra intorno al Sole.

Art. III. — Argomenti dedotti da fenomeni osservati più recentemente.

435. — Generalmente parlando si può dire che non soltanto tutte le difficoltà, una volta mosse contro il moto della Terra, sono state sciolte, ma di più, che tutti i fenomeni celesti, nei quali teoreticamente entra come causa coefficiente o modificante il moto terrestre intorno al Sole, praticamente mostrano la modificazione, richiesta dalla teoria. Essi servono quindi, se non come argomenti nuovi, almeno come altrettante conferme della nostra tesi. Ne accenneremo brevemente l'uno

(1) Il ragionamento si rassomiglia molto a quello dell'articolo precedente; si notino però le divergenze: 1° che il senso, ossia la direzione dello spostamento a cagione dell'aberrazione della luce, è diversa da quello dovuto alla parallasse; 2° che l'aberrazione si osserva in tutte le stelle, una parallasse in pochissime; 3° che il massimo valore dell'aberrazione 20″,45 è costante, mentre la parallasse varia da una stella all'altra, secondo le distanze diverse.

I due argomenti sono dunque del tutto indipendenti e diversi.

Notiamo finalmente, che anche la rotazione della Terra produce una piccola aberrazione diurna, il massimo valore della quale però, nelle osservazioni fatte all'equatore della terra, non sorpassa 0″, 3. Essa aggiunge un argomento nuovo alle già riferite per la detta rotazione.

(2) La parallasse massima finora scoperta è quella di α Centauri (0″,71), la quale purnondimeno suppone una distanza tale dalla Terra che la luce non la percorre se non in 4,6 anni, mentre la distanza ☉ ♁ viene percorsa in 8 $\frac{1}{3}$ minuti.

Digitized by Google

o l'altro, riservando uno svolgimento più completo a luogo più opportuno.

436. **Le stelle cadenti** che si osservano in maggior numero in certi giorni determinati dell'anno, con tutte le circostanze che le accompagnano, vengono completamente spiegate dalla diversa direzione del moto terrestre e dal vario luogo, dove la Terra allora trovasi nella sua orbita (intorno al Sole); dunque quel moto e quest'orbita veramente esistono. Secondo la bella spiegazione dell'illustre astronomo Schiaparelli di Milano, la materia di quelle meteore viene fornita da certi sciami o anelli di materia cosmica, i quali girando come i pianeti e le comete (in sezioni coniche) intorno al Sole (☉), hanno certi punti di contatto coll'orbita della Terra.

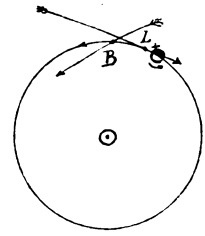


Fig. 236.

Ora è chiaro, se la Terra passa per tali punti B o L (Fig. 236), per esempio il 14 e 27 novembre, le meteore sono più frequenti; inoltre alcuni sciami, come i cosidetti Bielidi (B, percorrendo la loro orbita con una velocità di 40 chilometri incirca al secondo), si muovono nella direzione del moto terrestre, altri invece, come i Leonidi (L, colla velocità di 43 chilometri) vengono incontro alla Terra; quindi si capisce perchè le prime presentino delle tracce lunghe e poco brillanti sul cielo, queste invece siano più fugaci, ma anche più focose. La Terra colla sua atmosfera penetra nell'interno di questa moltitudine di meteore, come una palla di cannone in uno sciame di mosche; e siccome la maggior parte di queste dovrà lasciare la vita sulla parte anteriore della palla, così la maggior parte delle meteore, incendiate dalla collisione coll'atmosfera terrestre, si dovrà osservare in quella parte della Terra, la quale (tenendo conto della rotazione) è rivolta verso l'apice della sua traslazione nello spazio; cioè dove il Sole sta per spuntare sull'orizzonte. E ciò dice l'esperienza.

437. — **La variabilità di certe stelle**, che ricorre in periodi determinati, come per esempio quella di Algol (β Persei) è probabilissimamente dovuta a corpi celesti oscuri, circolanti intorno alle medesime, i quali al tempo del minimo di splendore della stella, frapponendosi fra questa e la Terra, la eclissano

Digitized by Google

parzialmente. Ora si è trovato che questi periodi, per essere regolari, devono essere riferiti ad un luogo eliocentrico, altrimenti si scorge una certa irregolarità, simile a quella già osservata dal Roemer nelle eclissi dei satelliti di Giove (n. 429). Così l'argomento, che nel caso di Giove poteva ancora eludersi colla sostituzione di un epiciclo planetario, acquista una forza tanto maggiore, in quanto codesti epicicli, continuamente ripetuti nei loro particolari, rispecchiano troppo chiaramente l'orbita della Terra.

438. — Finalmente **lo spettroscopio,** del quale tratteremo più diffusamente nel terzo libro (Astrofisica), ha fornito delle belle prove circa il moto della Terra. Per mezzo di questo strumento si determina direttamente la lunghezza delle onde dei varii raggi luminosi. Ora siccome le onde marine, che si succedono con certi intervalli regolari di spazio e di tempo, colpiscono con successione più rapida una nave, che procede contro di esse, che non un'altra, la quale vada nella stessa direzione delle onde, così le onde luminose di una stella si succedono più rapidamente, se la Terra nel suo volo va verso la stella, che non, quando (dopo un mezzo anno) si muove in senso opposto. Lo spostamento delle righe spettroscopiche (come spiegheremo a suo luogo) manifesta veramente questa variazione, dunque la Terra si muove davvero intorno al Sole.

CAPITOLO III.

SPOSTAMENTI ANGOLARI DELL'ASSE DELLA TERRA.

ART. I. — LA PRECESSIONE DEGLI EQUINOZI.

439. — L'asse di rotazione della Terra rimane, durante la traslazione annua intorno al Sole, sensibilmente parallelo alla sua posizione primitiva. È questo una semplice conseguenza della cosidetta legge d'inerzia; ma anche senza la conoscenza teorica di questa legge, Copernico aveva già indicato il fatto, ed aveva di più mostrato, come con questo si spiegava egregiamente il moto apparente del Sole nell'eclittica,

Digitized by Google

la varia durata dei giorni ed il cambiamento delle quattro stagioni (num. 363).

Dicendo, che l'asse rimane sensibilmente parallelo a se stesso, si vuol dire, che questo parallelismo non è un parallelismo rigoroso. Infatti l'asse terrestre P P′ (Fig. 237) è soggetto a uno spostamento lentissimo per il quale i due poli celesti P e P′, nel lungo periodo (detto anche anno Platonico) (1) di circa 26 000 anni, descrivono un circolo completo intorno ai poli dell'eclittica (L ed L′).

440. Questo spostamento dell'asse di rotazione P P′ (Fig. 237) porta seco uno spostamento della linea (♈♎) di intersezione dell'equatore A Q e dell'eclittica E C. Essendo cioè retrogrado (contro l'ordine dei segni zodiacali) il senso della rotazione dei poli P P′, anche i punti equinoziali ♈ ed ♎ si spostano nell'eclittica in senso retrogrado da ♈ verso ♈′ ecc., di circa 50″,2 all'anno, ossia di 1° in 72 anni.

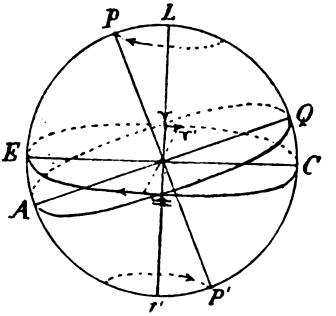


Fig. 237.

Conseguentemente il zodiaco razionale (num. 34), relativamente al zodiaco apparente, si sposterà di un segno intero, ossia di 30°, in 2151 anni. Essendo ora passato pressochè questo tempo, il punto equinoziale ♈ non trovasi più nella costellazione dell'Ariete, ma in quella dei Pesci. Il complesso di questi fenomeni chiamasi semplicemente **Precessione degli equinozi.**

441. — Il fatto fu conosciuto fino dai tempi di Ipparco. Quando nel 134 av. Cr. comparve una stella nuova nella costellazione dello Scorpione, Ipparco, per sapere se fatti simili accadessero più frequentemente, volle fare un catalogo delle stelle fisse già conosciute, ordinandole secondo le loro coordinate eclitticali.

Alcune coordinate di stelle principali, per esempio di Spica (α Virginis), erano già state determinate 1 ½ secolo prima da

(1) Platone tratta di varii periodi di durata lunga, del presente però non fa cenno veruno, per la semplice ragione, che era sconosciuto in quel tempo.

Digitized by Google

Aristillo e Timocari. Ora misurate di nuovo le medesime coordinate, si scoprì che la longitudine di queste stelle era cresciuta di circa due gradi interi, mentre la latitudine era rimasta la stessa. Ipparco ed i suoi discepoli e seguaci (Tolomeo ecc.) attribuirono lo spostamento alla sfera delle stelle fisse, supponendo immobile il punto equinoziale ♈: dovendosi concepire questo moto della Sfera ottava come moto diretto (secondo l'ordine dei segni), prevalse il nome di precessione, il quale, come accennammo già di sopra (num. 365), è rimasto, anche dopochè Copernico ebbe mostrato trattarsi di un semplice moto dell'asse terrestre, d'uno spostamento degli stessi punti equinoziali. Più giusto sarebbe dunque parlare, invece di precessione, della **retrogradazione dei punti equinoziali** (♈ e ♎) e conseguentemente di tutti gli altri segni del zodiaco razionale.

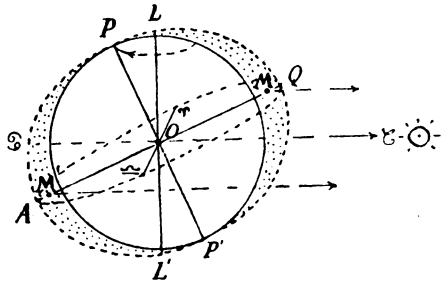


Fig. 238.

442. — La causa fisica principale del fenomeno deve ricercarsi nell'attrazione, che esercita il Sole (☉) sull'ellissoide terrestre. L'ellisse A P Q P′ (Fig. 238) rappresenti una sezione meridiana della Terra. Descrivendo col raggio O P, intorno al centro (di figura) O un circolo, l'attrazione solare, esercitata nella direzione O ☉, trova tutte le parti nell'interno di questo circolo (e del globo, di cui presenta una sezione), simmetricamente situate relativamente alla linea L L ⊥ O ☉; possiamo quindi concepire tutta la massa terrestre, compresa dal detto circolo o globo, come condensata nel centro stesso O, cioè l'attrazione solare non tende in nessun modo a spostare la direzione dell'asse terrestre. Non è così delle due falci (menischi) rimanenti, delle quali i punti M ed M′ rappresentino i centri di gravità. M, essendo più vicino al Sole, è attratto con forza maggiore, che non O; M′, essendo più lontano, con forza minore. Se la Terra fosse senza rotazione, questa differenza di attrazione produrrebbe col tempo un raddrizza-

Digitized by Google

mento dell'asse terrestre P P', il quale andrebbe a mettersi in coincidenza coll'asse L L' dell'eclittica, girando intorno all'asse O $\Upsilon \perp$ O P e O L. Siccome però la Terra ha un moto di rotazione assai rapido intorno all'asse O P, avremo due assi simultanei, concorrenti nel punto O; la conseguenza è un asse nuovo risultante ossia lo spostamento dell'asse effettivo di rotazione.

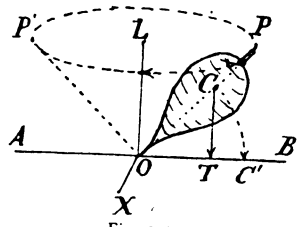


Fig. 239.

443. — Un'illustrazione assai semplice del fenomeno offre il noto giuocherello dei ragazzi, **la trottola** (Fig. 239). Se questa girando rapidamente intorno all'asse P O, è appoggiata obliquamente sul pavimento A B, l'attrazione terrestre, esercitata sul suo centro di gravità C, tende a rovesciarla ed a condurre C per l'arco C C', producendo così un nuovo asse di rotazione O X $\perp$ O P ed O L. La rotazione rapida della trottola intorno ad O P impedisce la caduta, ma l'asse O P si sposta verso l'asse nuovo O X, per mettersi in coincidenza con esso; e perciò gira anche O X nel piano orizzontale (quasi fuggendo) donde risulta poi un moto continuo conico di O P intorno alla perpendicolare O L. Il senso della rotazione dell'asse dipende da quello delle rotazioni particolari.

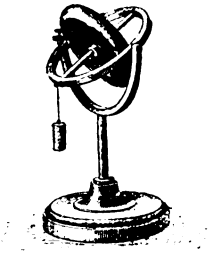


Fig. 240.

444. — Un apparato più acconcio a riprodurre tutte le particolarità dei singoli movimenti, è il giroscopio (num. 420), ovvero **la macchinetta di Bohnenberg** (Fig. 240), inventata da questo insigne fisico [1] fin dall'anno 1817. Il toro nel mezzo, ben equilibrato in tutte le parti, e sospeso mediante la nota sospensione cardanica, rappresenta la Terra. Avendo comunicato una rotazione abbastanza rapida al toro, questo, benchè tutto l'apparato venga trasportato da un luogo all'altro, man-

(1) L'apparecchio è stato modificato recentemente in varie maniere da parecchi autori (Fessel, Plücker, Poggendorff, ecc.), come vedesi nei libri, da essi pubblicati, e nei vari trattati di Fisica e Meccanica.

Digitized by Google

tiene il suo asse di rotazione parallelo alla posizione primitiva, dando così una bella illustrazione dello stesso parallelismo (sensibile) dell'asse terrestre, trasportato intorno al Sole. Se invece attacchiamo un piccolo peso ad uno degli anelli, come vedesi indicato nella figura, questo peso tende a raddrizzare

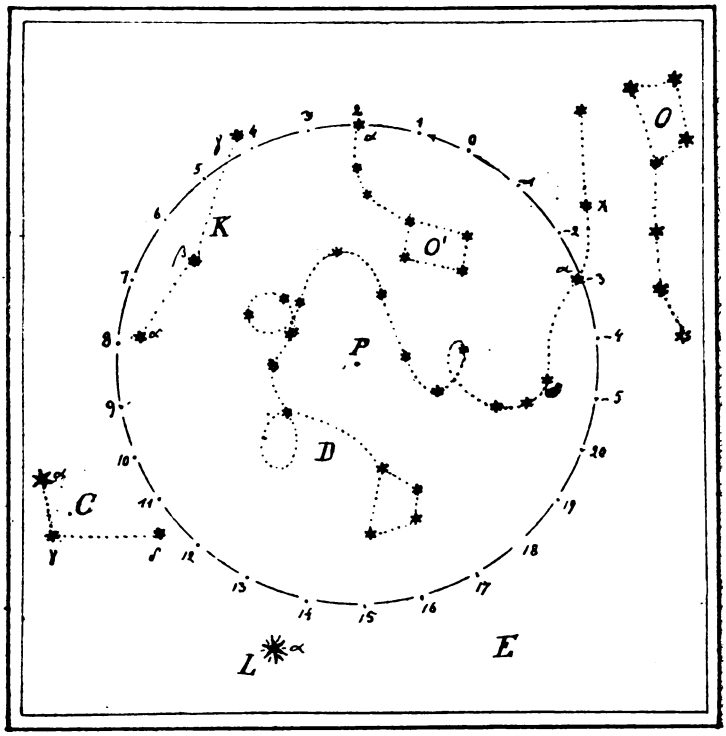


Fig. 241.

l'asse di rotazione, il quale comincia subito a spostarsi, eseguendo il sovraindicato movimento conico.

445. — Ritornando, dopo questa spiegazione meccanica sperimentale, alla nostra figura 238, si vede facilmente, che il senso dell'azione solare sulla protuberanza equatoriale rimane lo stesso sia che il Sole apparisca (come nella figura) nel segno ♉, ossia che stia in quello del ♋. Ai tempi degli equinozi, essendo tutta simmetrica la posizione da detto anello relativamente

Digitized by Google

alla linea che congiunge i centri dei due astri (☉ e ☽), la differenza di attrazione si annulla, passando così ogni anno per due massimi, al tempo dei solstizi, e per due minimi, al tempo degli equinozi. Da ciò potrebbe credersi dovere nascere una certa irregolarità annua nella precessione. (1) Anzi siccome l'attrazione della Luna esercita un'influenza simile sulla Terra, si dovrà pure tenere conto della posizione della medesima, per stabilire una teoria completa della **precessione luni-solare.** (2)

446. — La figura 241 può dare un'idea sufficiente dello spostamento del polo Nord fra le varie costellazioni del cielo boreale. Da essa si vede, che prima dei tempi nostri non vi fu «**Stella polare**» vicina al polo, se non circa 3000 anni prima dell'èra volgare; ossia più precisamente, circa l'anno 2790 (av. Cr.), quando la stella α Draconis (D) stava assai vicina al polo. La presente stella polare α Ursae minoris (O′) si avvicinerà ancora un poco più al polo, fino all'anno 2100, quando avrà una distanza di soli 28′. Verso il 4000 dopo Cr. la stella γ Cephaei (K) potrà servire da stella polare; e così via discorrendo succederanno le stelle del Cigno (C), della Lira (L), Ercole (E) ecc. Così si spiega, come certe costellazioni, per esempio la Croce del Sud, ora invisibile nell'Europa, una volta si alzava sopra l'orizzonte europeo, almeno nelle regioni più australi; (3) altre invece come l'Orsa maggiore, che prima non tramontava mai, neanche in quelle regioni, ora già in parte tramonta. Certe descrizioni del cielo, fatte in tempi remotissimi, ci mettono così nella possibilità di congetturare l'e-

(1) Di fatti coll'andar del tempo gli astronomi del medio evo credettero di avere osservato una certa irregolarità, che cercarono poi di spiegare col cosidetto moto di Trepidazione dell'asse celeste. Siccome però questa spiegazione, come risultò dagli studi di Tycho Brahe, si appoggiava sopra osservazioni erronee, corrette e perfezionate queste, la teoria della trepidazione fu abbandonata; anzi oggidì è del tutto dimenticata.

(2) Lo spazio non ci permette di entrare in altri particolari di questa teoria, la quale inoltre si sottrae ad un tratto elementare; vedansi perciò i grandi trattati di Meccanica celeste.

(3) Di questa costellazione dice Dante:

> I' mi volsi a man destra, e posi mente
> All'altro polo; e vidi quattro stelle,
> Non viste mai fuor ch'alla prima gente.
> (*Purg.* I, 8).

Digitized by Google

poca probabile della loro costruzione. (1) Delle conseguenze rispetto alle condizioni climatiche e geologiche della Terra, tratteremo nell'Astrofisica.

447. — La precessione degli equinozi, mentre cambia la longitudine delle stelle, cambia con ciò anche le coordinate equatoriali. Da ciò segue, che i globi, gli atlanti e le carte celesti possono rappresentare il cielo stellato soltanto per una data epoca, per la quale si suole ordinariamente scegliere il principio, ossia la metà di un secolo, per esempio 1800, 1850, 1900 ecc. Lo stesso dicasi dei catologi di stelle. Per cambiare le posizioni ivi assegnate ad una stella particolare, ci vuol sempre una certa trasformazione delle coor-

(1) L'astronomo scozzese Piazzi-Smyth, per esempio, esaminando la posizione di un corridoio della grande Piramide di Gizeh in Egitto, il quale (diretto verso il polo) sta perfettamente nel piano del meridiano, venne alla conclusione, che quest'insigne monumento, che una volta, come attesta lo stesso Erodoto, serviva da osservatorio astronomico, rimonta fino all'anno 2161, se non fino al 3400 av. Cr., poichè la direzione del corridoio è tale, che la stella α Draconis alla sua culminazione inferiore dovette attraversare la visuale del medesimo in quell'epoca.

Quanto però si deve essere cauto in simili congetture, lo dimostra la letteratura intorno al famoso Zodiaco di Denderah (antica città Tentyra nell'Egitto), trovato ivi al tempo della spedizione di Napoleone I nel 1798.

A questo dipinto, trasportato nel 1822 con grandi spese nella biblioteca nazionale di Parigi, si voleva attribuire l'età di almeno 4300, se non di 15000 anni, cominciando il computo dal principio dell'èra volgare. Tutto il ragionamento si appoggiò sopra una posizione, supposta privilegiata, della costellazione del Leone tra gli altri soliti segni dello zodiaco, e sul fatto, che gli Egiziani cominciano l'anno tropico dal solstizio, ossia dal Tropico d'estate. Ora secondo la teoria della precessione, questo solstizio cadde nella detta costellazione circa il 4300 av. Cr. Siccome però il detto zodiaco non mostra le stelle, ma soltanto le note figure tipiche, neanche è possibile di determinare con discreta esattezza le coordinate di queste figure. Le interpretazioni erano quindi molto arbitrarie, come si vede già dalla variazione di 4000 e 15000 anni. Ma quello poi che impose silenzio a tutti gli interpreti, fu la scoperta, che lo zodiaco, come dimostrarono le iscrizioni geroglifiche di quei luoghi, era un dipinto dell'epoca degli imperatori romani, cioè del primo secolo dell'èra volgare. Probabilmente non si tratta di altro, che di un tema astrologico. (n. 321). Lo stesso zodiaco fu poi trovato nel sepolcro della mummia d'un uomo morto nel 116 d. Cr. Cfr. *Letronne*: «Analyse critique des représentations zodiacales de Denderah et d'Esné. (Mém. de l'Acad. des Inscriptions XVI, 102 segg.)

Digitized by Google

dinate: per una prima approssimazione basta cambiare prima la sola longitudine secondo l'incremento annuo e poi fare la trasformazione delle coordinate eclitticali in quelle equatoriali (num. 250). Per fare il cambio con grande precisione i cataloghi stessi, come ancora le effemeridi, sogliono dare non soltanto le formole necessarie, ma anche delle tavole, che accorciano i calcoli da farsi, nei quali poi entrano ancora altri fattori da discutersi nei seguenti capitoli. Siccome la precessione non può prendersi esattamente proporzionale al tempo trascorso, il teorema per epoche lontane diventa un po' complicato; per mezzo del calcolo differenziale si ottengono però formole abbastanza comode. (1)

Art. II. — Nutazione dell'asse terrestre.

448. — Oltre il Sole anche la Luna esercita la sua attrazione sulla prominenza equatoriale della Terra e ciò differentemente sulla parte più vicina e più lontana di questa; anzi la differenza di attrazione, benchè la massa lunare sia molto minore di quella del Sole è più notevole, a cagione della vicinanza della Luna. Di più, la Luna esce fuori del piano dell'eclittica, essendo la sua orbita un poco inclinata (di 5° circa) al piano dell'orbita terrestre. Per conseguenza il fenomeno della precessione luni-solare mostra certe irregolarità. Il circolo ABCD (Fig. 242), base del cono, descritto dall'asse terrestre OP, intorno all'asse dell'eclittica OL, non è un circolo perfetto, ma una linea ondulata, risultato di un moto epicicloidale, di cui il circolo grande, col centro in L, forma il deferente; sulla circonferenza di questo gira il centro C del piccolo epiciclo. Il moto ondulato dell'asse terrestre lungo il circolo ABCD, chiamasi **Nutazione.**

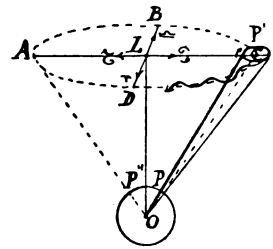


Fig. 242.

(1) Vedi *Santini* «Elementi di Astronomia», II edizione, Padova, 1830, vol. I, pag. 99.

Digitized by Google

449. — L'epiciclo è una piccola ellisse; l'asse maggiore è diretto verso il polo L dell'eclittica, il movimento dell'asse terrestre (prolungato) intorno a quest'ellisse ha un periodo di $18\frac{2}{3}$ anni, identico con quello di un giro intero dei nodi dell'orbita lunare. La Luna, percorrendo ogni mese intorno alla Terra la sua orbita, inclinata all'orbita terrestre, trovasi due volte in ogni lunazione nel piano dell'eclittica; ora nel suo Nodo ascendente ☊, per salire dalla parte inferiore (australe) a quella superiore boreale; ora nel suo Nodo descendente ☋, dove passa dalla parta superiore di nuovo all'inferiore. La linea retta, che congiunge questi due punti, chiamasi la linea dei nodi. Ora questa linea si sposta in senso retrogrado da una lunazione all'altra; dimodochè nello spazio di $18\frac{2}{3}$ anni, dopo aver percorso 360° di longitudine, ritorna alla posizione di prima. (1) Ricordando quello che abbiamo detto (num. 439 sg.) intorno all'azione del Sole, è chiaro, che questo cambiamento dell'orbita lunare deve produrre il suo effetto sulla precessione lunare; come più tardi le osservazioni di Bradley dimostrarono.

450. — Bradley, volendo con successive osservazioni confermare la nuova sua teoria dell'aberrazione della luce (num. 432), scoprì, che le ascensioni rette, come le declinazioni delle stelle osservate, crescevano per circa 9 anni, e per altri 9 anni scemavano. Chiamiamo polo medio il centro C dell'epiciclo, P′ il polo vero, girante sulla circonferenza del medesimo, allora può stabilirsi la seguente regola rispetto alla posizione relativa di P′, che questo si trova alla longitudine ☊ ☽ + 90°. Il semiasse maggiore dell'ellisse (epiciclo) è uguale a 9″,22 [**costante della Nutazione**], l'asse minore a 6″,86. (2)

(1) La causa di questo moto retrogrado è del tutto analoga a quella della precessione; considerando cioè il sistema ☌ ☽, soggetto all'attrazione del Sole, questo rappresenta differenze somiglianti a quelle già esposte rispetto al piano, nel quale gira il raggio vettore ☌ ☽.

(2) Oltre la nutazione dell'asse terrestre, qui indicata, detta anche nutazione lunare, ve n'è un'altra più piccola, dovuta al Sole, e perciò chiamata nutazione solare, che ordinariamente può trascurarsi. Di più osservazioni recentissime hanno rivelato uno spostamento piccolo dell'asse terreste nell'interno dello stesso globo terreste, con una piccola variazione delle coordinate geografiche.

Digitized by Google

Art. III. — Variazione dell'obliquità dell' Eclittica.

451. — La posizione del piano dell'orbita terrestre suole indicarsi relativamente a quello dell' equatore terrestre. Quest'ultimo cambia la sua posizione nello spazio (insieme all'asse di rotazione) nel modo indicato negli articoli precedenti. Ora si domanda, se almeno il piano stesso dell'eclittica rimane invariato, dimodochè l'angolo formato col piano equatoriale (astraendo dalla nutazione) resti lo stesso. Le osservazioni fatte nei vari tempi rispondono negativamente:

AUTORITÀ	ANNO	OBLIQUITÀ
Osservazioni cinesi	del 1100 av. Cr.	23° 52′ 0″
Pythea (Greco) in Marsilia . . .	350 d. Cr.	23° 49′ 20″
Ibn Iunis (Arabo dell'Egitto) . .	1000 »	23° 34′ 26″
Astronomo cinese Kosciu King. .	1280 »	23° 32′ 12″
Ulugh Beigh (Samarkand) . . .	1437 »	23° 31′ 48″
Bradley (Bessel)	1750 »	23° 28′ 18″
Leverrier	1850 »	23° 27′ 32″
Nautical Almanac	1900 »	23° 27′ 6″

452. — Da questa tavola si vede, che l'obliquità va continuamente scemando da tempo immemorabile fino ai giorni nostri. Se questa diminuzione continuasse indefinitamente, porterebbe senza dubbio delle conseguenze serie sul variare delle stagioni (num. 363) e sui vari climi della Terra. La teoria però della gravitazione universale dimostra, che lo spostamento dell'eclittica, dovuto all'attrazione dei vari pianeti, è uno spostamento oscillatorio, che ora diminuisce, poi di nuovo fa crescere l'inclinazione. Secondo questa, la diminuzione continuerebbe ancora fino all'anno 6600 dopo Cr., quando l'obliquità avrebbe un minimo valore di 21° 20′; passato questo tempo l'obliquità tornerebbe a crescere sino all'anno 19 300, per arrivare ad un massimo valore di 25° 21′. Questi risultati sono dovuti all'insigne astromeccanico francese Laplace, il quale partendo dal-

Digitized by Google

l'obliquità del 1750, ed esaminando l' influsso relativo dei vari corpi celesti, che compongono il nostro sistema planetario, sull'orbita terrestre, stabilì la teoria della **variazione secolare dell'eclittica.** Secondo Lagrange († 1813) [1] l'obliquità non salirà mai sopra 28° e non scenderà mai sotto 21°.

COROLLARIO.

453. — Le effemeridi astronomiche per ogni anno sogliono dare i valori rispettivi della precessione, nutazione ed obliquità apparente dell'eclittica. Fatta la correzione dovuta alla nutazione (rifrazione, ecc.), invece della posizione apparente si ottiene la **posizione media d'un astro**, la quale si riferisce all' equinozio medio ed all' obliquità media, cioè a quell'equinozio e a quell'obliquità dell'eclittica, che avrebbe luogo, se non vi fosse la nutazione che fa variare periodicamente l'una e l'altra.

Il detto fin qui basta, per formarci un' idea, quanto sia laboriosa l'astronomia pratica, che lavoro paziente e continuo ci voglia, per svincolare le apparenti posizioni misurate da tutte le cose accidentali, che potrebbero influire nel risultato. Ricordando poi tutto ciò, che fu detto nel primo libro sugli errori strumentali e loro correzioni, sull'influsso dell'atmosfera, sulle modificazioni delle misure cagionate dalla forma ellissoidale della Terra, ecc., si dovrebbe quasi lasciare la speranza, di vedere eliminati tutti gli errori accertati, e di avere un risultato rigoroso. Si rifletta però, che in tutte queste cose si tratta di quantità piccolissime, talvolta inaccessibili alle stesse osservazioni, ed è certamente un grande acquisto alla scienza astronomica, di poter ridurre tutti quei movimenti così intricati alla grande legge che domina nell' universo, alla Gravitazione universale.

(1) Un massimo assoluto di 27° 31′ sarebbe stato 29 400 anni prima di Cr., scemando per 15 000 anni sarebbe arrivato nel 14 400 av. Cr. a 21° 30′. Cominciò poi di nuovo a crescere fino al 6600 ecc.

Digitized by Google

CAPITOLO IV.

ELEMENTI DELL'ORBITA TERRESTRE.

454. — Elementi di un'orbita planetaria qualunque chiamansi quelle quantità, per le quali, oltre la posizione nello spazio, le parti costitutive dell'ellisse descritta, vengono talmente determinate, che per mezzo di essi, per un momento qualunque dato, si possa assegnare la posizione del pianeta nello spazio. Tra questi elementi si annoverano ordinariamente sei cose: 1° l'asse maggiore, ossia la distanza media dal Sole, 2° l'eccentricità, 3° la posizione del piano planetario relativamente all'eclittica, ossia l'inclinazione dell'orbita, 4° la posizione della linea d'intersezione del piano dell'orbita con quello dell'eclittica, ossia la longitudine del nodo ☊, 5° la direzione dell'asse maggiore, ossia la longitudine del perielio,(1) 6° finalmente il tempo del passaggio al perielio, per qualche determinata epoca. Alcuni aggiungono ancora come settimo elemento il moto medio. Questo però si conosce dalla III legge di Keplero; conoscendo cioè l'asse maggiore, dal quale dipende il tempo periodico, e dividendo i 360° percorsi per il numero dei giorni contenuti nel periodo d'una rivoluzione, si ottiene in media la misura dell'angolo, percorso giornalmente, ossia il moto medio diurno.

Trattandosi dell'orbita terrestre, la ricerca degli elementi viene un po' semplificata, perchè il piano dell'orbita è quello già conosciuto dell'eclittica, ossia dell'orbita apparente del Sole; resta quindi soltanto a stabilirsi: l'asse maggiore, l'eccentricità, la longitudine del perielio, e se vogliamo, il moto medio diurno. Cominciamo coll'eccentricità.

(1) La longitudine del perielio suole determinarsi in questo modo: alla longitudine del nodo ascendente ☊ si aggiunge semplicemente la distanza angolare (eliocentrica) del Perigeo dal ☊.

Digitized by Google

ART. I. — L'ECCENTRICITÀ DELL'ORBITA TERRESTRE.

455. — Nell'ellisse A B A′ B′ (Fig. 243) la linea $AA' = 2a$ sia l'asse maggiore o trasverso, B B′ sia l'asse minore o coniugato, F ed F′ siano i due fochi; C sia il centro di figura. Congiungendo B con F ed F′, sarà

$$CA = BF = BF' = CA' = a; \quad CB = CB' = b.$$

Dati i due assi (maggiore e minore) ossia i semiassi a e b, l'eccentricità di un'ellisse è determinata dalla distanza dei due fochi F ed F′ dal centro C; quindi si chiama la linea $CF = c$ anche semplicemente **eccentricità lineare** dell'ellisse. Numericamente si esprime l'eccentricità col rapporto che ha questa distanza C F col semiasse maggiore, il quale rapporto è funzione dell'angolo $\gamma = CBF$ (angolo dell'eccentricità); avremo dunque per l'**eccentricità numerica** e

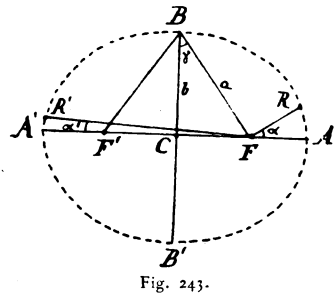


Fig. 243.

$$e = \frac{CF}{BF} = \frac{c}{a} = \operatorname{sen}\gamma \; ; \quad c = a\,e \; ; \quad \cos\gamma = \frac{b}{a} .$$

456. — Posto ciò, è facile la determinazione dell'eccentricità dell'orbita terrestre. Il moto ellittico della Terra (cf. num. 373) intorno al Sole si presenta a noi come un moto ellittico apparente del Sole intorno alla Terra. Sia dunque A il punto della massima vicinanza del Sole alla Terra (il Perigeo), A′ il punto della sua distanza massima (l'Apogeo),[1] supponendo la Terra collocata nel foco F. Il disco apparente del Sole sarà massimo in A, minimo in A′. Difatti mentre il suo diametro apparente (d) in A misura $32' 35'',6 = 1955'',6$,

(1) I nomi greci rispettivi sono: περίγειον, ἀπόγειον, ai quali nel sistema eliocentrico si sono poi sostituiti i nomi περιήλιον, ἀφήλιον.

Digitized by Google

quello (d') in A′ misura soltanto $31' 31'',0 = 1891'',0$. Avremo quindi

$$AF : A'F = d' : d = 1891,0 : 1955,6 ;$$

ossia

$$a - c : a + c = a - ae : a + ae = (1 - e) : (1 + e) = d' : d$$

ovvero

$$d' + d'e = d - de \quad ; \quad e(d + d') = d - d' ;$$

dunque

$$e = \frac{d - d'}{d + d'} = \frac{64,6}{3846,6} = 0,0168 .$$

457. — Con metodo somigliante l'osservazione delle varie velocità angolari, colle quali il Sole progredisce giornalmente nell'eclittica, fa trovare l'eccentricità; mentre l'angolo α, percorso nel Perigeo (A), è di $1° 1' 10'',1 = 3670'',1$; quello percorso nell'Apogeo (A′), cioè α', misura $57' 11'',2 = 3431'',2$.

Essendo uguali le aree descritte negli stessi tempi (num. 373), sarà $\frac{1}{2} AR \cdot AF = \frac{1}{2} A'R' \cdot A'F$; e poichè l'arco si esprime per mezzo dell'angolo moltiplicato pel raggio, sarà

$$\alpha . \overline{AF}^2 = \alpha' . \overline{A'F}^2 \qquad \text{ossia} \qquad \alpha (a - c)^2 = \alpha' (a + c)^2 ;$$

$$\frac{a - c}{a + c} = \frac{1 - e}{1 + e} = \sqrt{\frac{\alpha'}{\alpha}} = 0,96690 ;$$

dunque

$$1 - e = 0,9669 + 0,9669\, e \quad ; \quad e(1 + 0,9669) = 1 - 0,9669$$

$$e = \frac{0,0331}{1,9669} = 0,0168 .$$

Se si determina così l'eccentricità in varii anni, si trova, che anch'essa è soggetta ad una piccola variazione.

Digitized by Google

ART. II. — POSIZIONE DELL'ASSE MAGGIORE.

458. — L'asse maggiore (Fig. 244) divide l'orbita ellittica apparente del Sole in due parti uguali, le quali vengono percorse in tempi uguali; cioè ciascuna nel tempo ($\frac{1}{2}$ R) di una semirivoluzione siderale. Mediante l'osservazione dell'apparente diametro solare, minimo e massimo, possiamo indovinare due posizioni del Sole, una in S presso A, l'altra in S' presso A', misurando la longitudine di S ed S', cioè

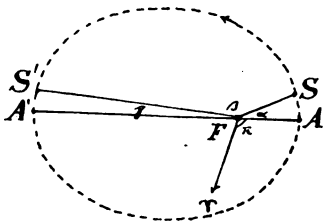


Fig. 244.

$$\measuredangle \Upsilon F S = \pi + \alpha = l$$

e $$\measuredangle \Upsilon F S' = \pi + \alpha + \beta = l'$$

notando inoltre il tempo (numero dei giorni) T, trascorso tra le due osservazioni.[1]

Essendo $\measuredangle AFS = \alpha$, $\measuredangle SFS' = \beta$, $\measuredangle S'FA' = \gamma$, sarà

$$\alpha + \beta + \gamma = 180° \quad ; \quad \text{essendo poi} \quad \beta = l' - l$$

sarà pure
$$\alpha + l' - l + \gamma = 180° \qquad (1)$$

Chiamando t il tempo (numero dei giorni), impiegato dal Sole a percorrere α, t' quello nel quale γ viene percorso, i rispettivi moti conosciuti m ed n, che per quei pochi giorni possono prendersi come uniformi, saranno espressi dall'equazione

$$m = \frac{\alpha}{t} \quad ; \quad n = \frac{\gamma}{t'} \quad ; \quad \text{ossia} \quad t = \frac{\alpha}{m} \quad ; \quad t' = \frac{\gamma}{n} .$$

(1) La longitudine l' deve essere riferita allo stesso equinozio (Υ), cioè l'osservazione di S' deve essere corretta della precessione, accaduta nell'intervallo (T) di tempo. Quindi la longitudine osservata dovrà essere diminuita del valore T . 50″,1 : 365,25.

Digitized by Google

Sappiamo però, che

$$t + T + t' = \frac{R}{2} ;$$

dunque

$$\frac{\alpha}{m} + T + \frac{\gamma}{n} = \frac{R}{2} \qquad (2)$$

Mediante le due equazioni (1) e (2) si trovano i valori di α e γ, e quindi essendo

$$\sphericalangle \Upsilon FA = \pi = l - \alpha = l' + \gamma - 180^\circ,$$

si conosce la longitudine del perigeo A e dell'apogeo A', conseguentemente anche **la longitudine del perielio** e dell'**afelio** della Terra, ossia la posizione dell'asse maggiore dell' orbita terrestre nel piano dell'eclittica.

Corollario. — Spostamento della linea degli absidi. Varie nozioni dell'anno.

459. — Determinando la posizione dell'asse maggiore **(linea degli absidi)** dell'orbita terrestre in due epoche (1) abbastanza distanti, si osserva, che anch'essa si sposta lentamente tra le stelle fisse, con moto diretto, di circa $12''$ all'anno. Essendo il senso di questo spostamento contrario a quello (di circa $50''$), della precessione del punto equinoziale Υ, il perigeo si sposterà ogni anno di $62''$, ossia l'incremento annuo della longitudine del perigeo sarà di $62''$. Più precisamente, secondo i calcoli fatti dal Bessel, la longitudine del perigeo solare per un anno $1800 + T$ è data dalla formola:

$$L = 279^\circ\, 30'\, 8'',39 + 61'',5171\, T + 0,00020037965\, T^2.$$

460. — Secondo i varii termini di confronto dobbiamo dunque distinguere **varie rivoluzioni del Sole** intorno alla

(1) Epoca suole, generalmente parlando, chiamarsi nella teoria planetaria il tempo del passaggio del pianeta al suo perielio. Conoscendo un passaggio di un anno determinato, si calcolano tutti gli altri (antecedenti o conseguenti).

Digitized by Google

Terra: cioè il periodo trascorso tra due appulsi consecutivi alla medesima stella fissa, chiamasi anno siderale; due appulsi al punto equinoziale, anno tropico; due al perigeo anno anomalistico. L'anno tropico è più corto, l'anno anomalistico più lungo dell'anno siderale. Esprimendo i singoli intervalli in tempo solare medio si trova:

Anno	tropico	$= 365^d,24219987$	$= 365^d\ 5^h\ 48^m\ 45^s,80$
»	sidereo	$= 365^d,2563578$	$= 365^d\ 6^h\ 9^m\ 9^s,31$
»	anomalistico	$= 365^d,25961$	$= 365^d\ 6^h\ 13^m\ 59^s$

ART. III. — DETERMINAZIONE DEL SEMIASSE MAGGIORE DELL'ORBITA TERRESTRE, OSSIA DELLA DISTANZA MEDIA DEL SOLE DALLA TERRA.

461. — In un' ellisse qualunque (cfr. Fig. 243, pag. 430) la distanza di un punto, che percorre tutta la curva, relativamente al (medesimo) foco F, varia continuamente, essendo minima da una parte ($FA = a - c$), massima dall'altra parte ($FA' = a + c$); la **distanza media** sarà dunque uguale al semiasse maggiore:

$$\tfrac{1}{2}(a + c + a - c) = a = CA = CA' = FB = FB'.$$

Determinando quindi le distanze del Sole dalla Terra, quando questo trovasi nel perigeo ed apogeo, e conoscendo l'eccentricità dell'orbita, si avrà facilmente la distanza media.

Il metodo più spedito di misurare le dette distanze, sarebbe quello della **parallasse solare** (num. 266); cioè determinare l'angolo, sotto il quale si vedrebbe il raggio terrestre dal centro solare. Siccome però quest'angolo è assai piccolo ($8'',80$), un piccolo errore di $0'',1$ nella difficile determinazione diretta di questo, porterebbe subito una differenza di più di un milione di chilometri. Perciò si ebbe ricorso a varii metodi indiretti, più precisi, i principali dei quali qui accenneremo.

462. — **La velocità della luce** fornisce un primo metodo. La luce (num. 426) impiega $8^m\ 17^s,78$ ossia 498^s, a percorrere la distanza media del Sole dalla Terra; siccome si co-

Digitized by Google

nosce lo spazio percorso dalla luce in 1ˢ, circa 300 000 chilometri (cioè $7\frac{1}{2}$ volte la periferia dell'equatore della Terra), moltiplicando questo per 498, otteniamo per il semiasse maggiore dell'orbita terrestre 149 400 000 ossia (in numero tondo) 150 milioni di chilometri.

A questo ragionamento potrebbe opporsi, che la detta velocità della luce, determinata da sperimenti fisici nell'aria atmosferica, forse non può applicarsi allo spazio interplanetario, il quale piuttosto si rassomiglia ad un vuoto torricelliano. Siccome però gli altri metodi, coi quali si determina la distanza media del Sole, confermano il risultato ottenuto, questi for-

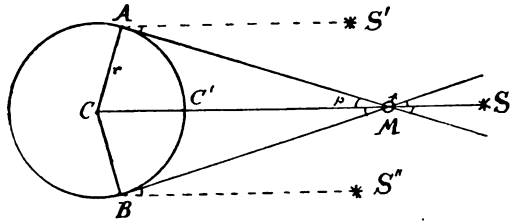


Fig. 245.

niscono allo stesso tempo una prova indiretta per questa identità della velocità della luce nell'aria e nell' etere.

463. — La parallasse di Marte (ovvero di un altro pianeta, vicino alla Terra) [1] ben determinata, permette un'accurata determinazione della parallasse solare. Al tempo dell'opposizione col Sole la distanza di questo pianeta dalla Terra è circa la metà della distanza (media) del Sole, [2] donde la sua parallasse è molto maggiore di quella del Sole. Questa può inoltre più facilmente determinarsi, essendo il piccolo disco pla-

(1) I pianetini (num. 408), benchè (generalmente parlando) un poco più lontani di Marte, si prestano nondimeno allo stesso metodo a cagione della loro piccolezza, per la quale appariscono nei telescopi come punti ben determinabili col micrometro. Uno di essi *Eros* (433), recentemente scoperto, ha un'orbita parzialmente entrante in quella di Marte, ed è perciò preferibile a tutti gli altri.

(2) L'avvicinamento varia da un' opposizione all' altra, con un periodo di 16 anni; gli anni, nei quali diventa 0,37 della distanza ♂, sono i più favorevoli a questa determinazione, poichè la parallasse di Marte arriva allora a 23″.

Digitized by Google

netario tra le stelle fisse un oggetto molto meglio adattato a misure micrometriche, che non il Sole.

Se per es., (Fig. 245), un osservatore terrestre in A, avendo ♂ nel suo orizzonte, misura la distanza angolare del pianeta da una stella fissa S, ossia l'angolo S' A M, e se questa stella si trova insieme con ♂ nello zenit di un osservatore simultaneo in C', l'angolo p così misurato (fatte tutte le correzioni, dovute alla rifrazione, ecc.), rappresenta la parallasse orizzontale di Marte (num. 266); la distanza M C $= d$ dal centro della Terra si trova mediante la nota formola $d = r : \text{sen}\, p$. Essendo poi conosciuta la proporzione tra la distanza di Marte e quella del Sole (dalla III legge di Keplero), si ricava senz' altro quest'ultima. Il valore trovato in questo modo conferma la prova precedente.

464. — Il passaggio di Venere avanti dal Sole, in quanto offre un metodo particolare per la determinazione della parallasse del Sole, ha acquistato una certa celebrità nella storia dell'astronomia. Specialmente negli anni 1874 e 1882, quando accaddero gli ultimi passaggi, la questione è stata discussa ampiamente. Dopo i progressi fatti nella costruzione degli strumenti, si sperava di togliere finalmente quel poco d' incertezza intorno alla seconda cifra decimale della parallasse, fino allora generalmente accettata, cioè di 8″,84. Ora questa speranza ad onta dell'aiuto della fotografia, non si è verificata; e siccome il metodo non potrà più essere applicato, se non nell'anno 2004, basterà indicarlo brevemente. (1)

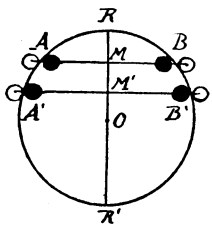


Fig. 246.

La ragione, perchè Venere e Mercurio non possono servire alla determinazione della parallasse al tempo di una congiunzione inferiore qualunque, si è, che questi pianeti allora sono

(1) Una difficoltà pratica incontrasi nell'osservazione precisa dei contatti, anche la fotografia non ha potuto eliminare questo difetto.

I passaggi si succedono con certi cicli regolari, cioè quattro volte in 243 anni, cogli intervalli di anni 105 ½, 8; 121 ½, 8. Così vi erano o vi saranno più passaggi:

nel giugno .	1518	1526	1761	1769	2004	2012	2247	2255
nel dicembre	1631	1639	1874	1882	2117	2125	2360	2368

Digitized by Google

del tutto immersi nei raggi solari, e quindi appena osservabili. Questo impedimento cessa, quando il pianeta passa attraverso il disco del Sole e si proietta sopra di esso come un dischetto nero (Fig. 246). Anzi in tale occasione il Sole stesso può funzionare come una specie di micrometro anulare (num. 190); si possono osservare i varii contatti, esterni ed interni, del disco planetario col lembo solare. Due osservatori, che osservano il passaggio in stazioni abbastanza distanti, vedranno il pianeta tracciare corde diverse, A B, A′ B′, proporzionali all'intervallo di tempo dei contatti osservati.

465. — Per maggiore semplicità del processo da farsi[1] supponiamo (Fig. 247) il pianeta ♀ nel piano dell'eclittica.

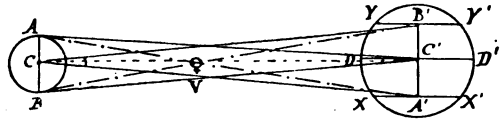


Fig. 247.

Sia A B un diametro della Terra perpendicolare al medesimo piano; presso A e B si trovino i due osservatori, i quali notano i tempi impiegati dal pianeta V, a percorrere le rispettive corde X X′ ed Y Y′. Conoscendo il moto angolare di Venere (V) e del Sole (C′), si calcola il tempo impiegato dal pianeta a percorrere il diametro solare D D′, la differenza di questo e dei tempi osservati, determina esattamente la distanza delle due corde dal centro, ossia la linea A′ B′ (non in misura lineare, ma angolare); cioè si trova l'angolo A′ C B′, sotto il quale un osservatore in C vedrebbe la linea A′ B′.

Posto ciò, i due triangoli simili ($\triangle$ A V B $\sim$ $\triangle$ A′ V B′) ci danno le seguenti proporzioni

$$\frac{A\,B}{A'B'} = \frac{C\,V}{C'\,V}$$

(1) I due osservatori possono trovarsi in altri luoghi diversissimi da quelli indicati; ma allora il problema diventa molto più complicato.

Digitized by Google

Dalla terza legge di Keplero (1) si deduce che

$$C V : C' V = 2 : 5 ;$$

dunque

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{2}{5} ; \qquad \text{ossia} \qquad \frac{AC}{A'B'} = \frac{1}{5}$$

cioè A′ B′ equivale a cinque raggi terrestri.

L'osservazione dei passaggi ci ha fornito l'angolo A′ C B′, sotto il quale si vede A′ B′ dalla Terra, dunque l'angolo A C′ B, sotto il quale si vedrebbe il diametro terrestre dal Sole che fornisce immediatamente la parallasse solare, sarà cinque volte minore. Risultano per la parallasse 8″,84, ossia una distanza media del Sole dalla Terra di 148 670 000 chilometri.

466. — L'equazione parallattica della Luna. La Luna a cagione del suo moto intorno alla Terra cambia considerevolmente la sua distanza relativa rispetto al Sole; essendo più vicina al tempo del Novilunio (☌), essa sente allora più l'attrazione solare, che non al tempo del Plenilunio (☍), quando trovasi ad una distanza molto maggiore.

La differenza si mostra nel moto della Luna, il quale è accelerato presso il primo quarto (☽), ritardato presso l'ultimo quarto (☾). Il valore angolare di questa ineguaglianza conduce alla conoscenza delle variate distanze; e siccome si conosce abbastanza bene la distanza della Luna dalla Terra, si trova che questa sta a quella del Sole, come 0,002571 ad 1. Le osservazioni degli angoli suddetti devono essere riferiti al centro della Luna, il quale non è accessibile ad una misura diretta, donde la precisione del metodo lascia alquanto da desiderare.

(1) Indicando cioè con a ed a' i semiassi maggiori di ♁ e ♀, e sapendo che i rispettivi tempi periodici sono T = 365,^{d} 25636 e T′ = 224,700 79, abbiamo $T^2 : T'^2 = a^3 : a'^3$. Sostituendo i valori numerici, si trova $a' = 0{,}73\ a$, ossia nel caso nostro V C′ = 0,73 C C′; V C = C C′ — 0,73 C C′; mettendo C C′ = 1; V C′ = 0.73; V C = 0,27; avremo V C′: V C = 73: 27 (prossimamente) 5 : 2; si noti però, che nel caso nostro abbiamo supposte distanze medie; altrimenti ci vorrebbero altre riduzioni, per valutare i raggi vettori attuali.

Digitized by Google

Da questi ed altri metodi somiglianti, tutti indipendenti gli uni dagli altri, che per amore di brevità tralasciamo, il valore più probabile, ora (dopo il 1901) adottato nelle effemeridi astronomiche, per la parallasse solare (equatoriale orizzontale) è 8″,80, cioè (Fig. 247):

$$\text{sen} \sphericalangle A\,C'\,C = \frac{A\,C}{CC'} = \text{sen } 8'',80 = 1 : 23400 = 0{,}0000427$$

da ciò risulta per la distanza media (☉ ◍) 149 milioni di chilometri, con una residua incertezza di ± 100 000 chm.

Art. IV. — Moto medio della Terra.

467. — Moto medio diurno d' un pianeta qualunque chiamasi generalmente l'angolo, percorso in un giorno (24^h di tempo solare medio), nella supposizione che la rivoluzione sia compita con moto uniforme. Per ottenerlo si divide il numero dei gradi (360°) di un giro intero (siderale) per il numero dei giorni. Rispetto al moto medio della Terra avremo quindi

$$360^\circ : 365{,}2563578 = 0^\circ\ 59'\ 8'',193;$$

ovvero per l'anno tropico

$$360 : 365{,}24219987 = 0^\circ\ 59'\ 8'',33.$$

Longitudine media chiamasi la distanza angolare (da ♈) d'un pianeta fittizio, moventesi con moto medio ed uniforme nell'orbita rispettiva.

Conoscendo finalmente tutti gli elementi dell'orbita terrestre, potremo farci un'idea della velocità media, colla quale il centro della Terra percorrendo nello spazio di un anno non meno di 930 000 000 chilometri, si muove intorno al Sole. Risultano per ogni minuto secondo 29,500 chilometri, per ogni minuto primo 1770, per ogni ora 106 200, per ogni giorno 2 548 000 chilometri.

Digitized by Google

468. — Secondo la legge delle aree (num. 373), l'asse maggiore A P (Fig. 248) dell'orbita terrestre divide il moto reale della Terra (apparente del Sole) in due parti simmetriche; cosicchè un Sole fittizio F, moventesi con moto medio lungo l'eclittica, e partendo allo stesso tempo col Sole vero V dal perigeo P (principio di gennaio) arriverà col medesimo

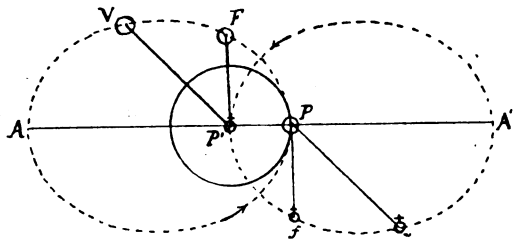


Fig. 248.

allo stesso tempo all'apogeo in A (principio di luglio). Fino a questo punto V ritenne sempre il sopravvento sopra F, mentre poi da A verso P il Sole (fittizio) F precorre il V; questo però, pian piano accelerando il moto di traslazione, raggiunge di nuovo F in P.

La figura inoltre dimostra, come questo moto apparente del Sole ☉ intorno alla Terra ♁, in realtà è un moto della Terra ♁ dal perielio P′ per ♁$_f$ e ♁$_v$ all'afelio A′, ecc. Per esprimere il moto in **longitudine eliocentrica**, basta aggiungere a quella apparente **geocentrica** 180°. Se per esempio da P′ si vede ☉ V nel segno del ♋, dal Sole P si vedrebbe la Terra ♁$_v$ in quello diametralmente opposto, cioè nel ♑.

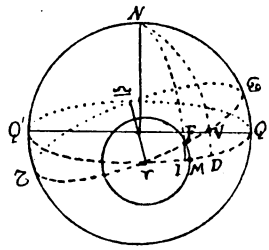


Fig. 249.

469. — Qui abbiamo la vera spiegazione della necessità del tempo solare medio (num. 80), per avere un *tempo uniforme*, i giorni del quale abbiano la stessa durata. Siccome questo però viene determinato dalla rotazione terrestre, ci vuole un altro Sole medio fittizio che chiameremo **Sole medio** (M) (Fig. 249), il quale con F trovisi sempre in coincidenza al

Digitized by Google

punto equinoziale ♈, girando del resto nello stesso tempo (anno tropico) con moto uniforme per l'equatore ♈ Q ♎ Q', mentre il Sole fittizio (F) ugualmente con moto uniforme percorre l'eclittica ♈ ♋ ♎ ♑. Si trovi, per esempio, il Sole vero in V, il fittizio in F. Costruendo intorno a ♈, come polo, un circolo passante per F, che incontri l'equatore in M, l'arco ♈ F rappresenta la longitudine media del Sole (fittizio), l'arco ♈ M invece l'ascensione retta del «Sole medio», cosicchè

$$Æ\,☉_m = \text{Long. media}\,☉_f.$$

Se di più per V conduciamo un circolo di declinazione N V, che incontri l'equatore in D, l'arco ♈ D misura l'ascensione retta del Sole vero (V) [$Æ\,☉_v$], dimodochè l'equazione

$$Æ\,☉_v - Æ\,☉_m = X$$

rappresenterà la già nota **equazione del tempo** (num 109).

Conducendo un circolo di declin. per F, in modo che incontri l'equatore in I, sarà ♈ M > ♈ I. Vi saranno però quattro coincidenze tra l'ascensione retta di F ed M, cioè nei tempi degli equinozii (♈ e ♎) e dei solstizii (♋ e ♑); donde risulta poi che l'equazione del tempo si annulla quattro volte all'anno (benchè in punti diversi).

CAPITOLO V.

IL PROBLEMA DI KEPLERO.

470. — Rimane ancora il problema, di assegnare alla Terra la sua vera posizione nella sua orbita ellittica, per un tempo qualunque dato. Lo risolveremo relativamente all'apparente orbita solare. Generalmente parlando, il problema può applicarsi a qualunque pianeta ed enunciarsi (secondo Keplero, che ne diede *la prima* soluzione) nei termini tecnici di quel tempo in questo modo: «Dato il tempo del passaggio di un pianeta al suo perielio, determinare l'anomalia vera per un tempo qualunque».

Digitized by Google

Anomalia (dal greco ἀνωμαλία = *irregolarità, disuguaglianza*) chiamarono gli antichi l'angolo, che fa il raggio visuale condotto dalla Terra colla linea degli absidi d'un pianeta, specialmente del Sole. Poichè gli angoli, descritti dal raggio vettore secondo le teorie antiquate (num. 327) doveano essere uguali in tempi uguali, l'angolo osservato invece mostrò delle irregolarità, esso ricevette semplicemente il nome di anomalia, il quale è stato ritenuto anche nell'astronomia moderna. Si distinguono nell'orbita ellittica tre (angoli) anomalie diverse. L'ellisse A B P (Fig. 250) rappresenti un'orbita planetaria, il centro del Sole stia nel foco F; P sia il perielio, A l'afelio. Un pianeta si trovi in V, l'angolo P F V chiamasi **anomalia vera.**[1]

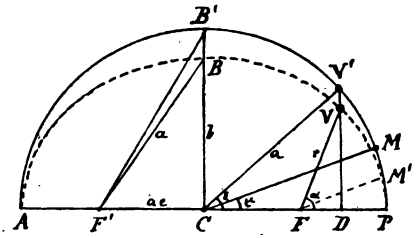


Fig. 250.

471. — L'ellisse può essere considerata generata dalla proiezione ortogonale di di un circolo A B' P, il piano del quale fa un certo angolo $\gamma = C B' F'$ col piano di proiezione (num. 455). Immaginiamo un pianeta fittizio V', girante per il circolo con questa legge, che V movendosi per l'orbita ellittica, rimanga sempre proiezione ortogonale di V', ossia che ribattuto il circolo nel piano dell'ellisse, la linea V' V D sia sempre perpendicolare all'asse A P. Condotta dal centro C dell'ellisse la retta C V', l'angolo $P C V' = \varepsilon$ chiamasi **anomalia eccentrica.** Inoltre supponendo un terzo pianeta medio, che si trasporti intorno al centro C sulla periferia circolare, ma con moto sempre uniforme, passando con V' al medesimo momento al perielio P, sarà facile di assegnare per un tempo qualunque (t) la posizione M, dove si troverebbe allora il pianeta medio, purchè si conosca il tempo periodico di una rivoluzione intera. L'angolo M C P chiamasi **anomalia media.**

(1) Keplero la chiama (lat.) anomalia coaequata (Op. omn. III, 408). Gli antichi chiamarono anomalia orbis la distanza angolare del pianeta dal punto più lontano del suo epiciclo (Cf. num. 345); Copernico lo chiamò anomalia commutationis sive secondae inaequalitatis.

Digitized by Google

Poste queste prenozioni, il problema di Keplero può enunciarsi con termini ancora più semplici: Data l'anomalia media, trovare l'anomalia vera. Lo scioglieremo dividendolo in varie parti od articoli.

ART. I. — DATA L'ANOMALIA MEDIA, TROVARE L'ECCENTRICA.

472. — Sia T il tempo periodico d'una rivoluzione anomalistica (num. 460) del pianeta (Fig. 250), t il tempo nel quale il pianeta vero, passi da P in V, il pianeta fittizio da P in V′, ed il pianeta medio da P in M. Chiamiamo E l'area intera dell'ellisse, K quella del circolo, allora secondo la legge Kepleriana delle aree, descritte dal raggio vettore proporzionali ai tempi, avremo:

$$\left.\begin{array}{lll} \text{Settore ellittico} & VFP : E = t : T \\ \text{» circolare} & MCP : K = t : T \end{array}\right\}; \quad VFP : E = MCP : K$$

$$\left.\begin{array}{ll} \text{ossia} & VFP : MCP = E : K \\ \text{d'altronde} & VFP : V'FP = E : K \end{array}\right\} \text{ intendendo sempre le aree rispettive,}^{(1)}$$

$$\text{dunque} \qquad MCP = V'FP = V'CP - \triangle V'FC .$$

In altri termini

$$\frac{1}{2} \text{arco } MP \cdot a = \frac{1}{2} \text{arco } V'P \cdot a - \frac{1}{2} CF \cdot V'D$$

ovvero
$$\mu a^2 = \varepsilon a^2 - e a^2 \operatorname{sen} \varepsilon$$

cioè
$$\mu = \varepsilon - e \operatorname{sen} \varepsilon \qquad (1)$$

Siccome dunque $\varepsilon - \mu = e \operatorname{sen} \varepsilon$, il risultato può enunciarsi in questo modo: La differenza tra l'**anomalia eccentrica e media** è sempre uguale al prodotto dell'eccentricità per il seno dell'anomalia eccentrica.

(1) La linea V′F che manca nella figura si supplisce facilmente.

Digitized by Google

473. — L'equazione (1) è un'equazione trascendentale, imperocchè l' incognita ε, prima di poter essere resa esplicita per una semplice operazione algebrica, trovasi soggetta ad un'operazione trigonometrica. Si può però scioglierla indirettamente, sia con « **falsa posizione** », sia con metodo grafico.(1)

Per dare un piccolo saggio del primo metodo (riservando il metodo grafico ad un corollario speciale), poniamo per esempio: $\mu = 50°$; $e = 0{,}05431$.

Per una prima approssimazione ε', non essendo mai grande la differenza tra ε e μ, si sostituisce il valore di μ invece dell'ultimo ε nell'equazione (1) la quale allora prende questo aspetto:

$$\mu = \varepsilon' - e \operatorname{sen} \mu \qquad \text{ossia} \qquad \varepsilon' = \mu + e \operatorname{sen} \mu$$

si trova $e \operatorname{sen} \mu = 0{,}041604$; il quale numero rappresenta un arco circolare espresso in parti del raggio (cf. num. 156). Volendo quindi avere un'espressione di $e \operatorname{sen} \mu$ in minuti di arco, dovremo moltiplicare il numero trovato 0,041604 per $\frac{10800}{\pi}$. Il risultato sarà

$$e \operatorname{sen} \mu = 143' = 2° 23'$$

Come prima approssimazione al vero potremo dunque porre

$$\varepsilon' = 50° + 2° 23' = 52° 23' \qquad (A)$$

474. — Per una seconda approssimazione ε'', si sostituisce questo valore ε' nell' equazione (1), scrivendola in questa forma

$$\varepsilon'' = \mu + e \operatorname{sen} \varepsilon'$$

(1) Keplero stesso diede già una soluzione indiretta, aggiungendo: « Mihi sufficit credere solvi a priori non posse, propter arcus et sinus ἑτερογένειαν. Erranti mihi quicunque viam monstraverit, is erit mihi magnus Apollonius ». Op. omn. III, 411 e 505.

Oltre le due soluzioni qui accennate vi è un terzo metodo indiretto per mezzo delle serie (facendo uso della formola differenziale di Mac Laurin).

Digitized by Google

Fatto il calcolo, si trova che $e \operatorname{sen} \varepsilon' = 2^\circ\, 27',9$; donde risulta come seconda approssimazione al vero

$$\varepsilon'' = 50^\circ + 2^\circ\, 27',9 = 52^\circ\, 27',9 \qquad (B)$$

Continuando lo stesso processo per una terza approssimazione ε''', ponendo

$$\varepsilon''' = \mu + e \operatorname{sen} \varepsilon'' \qquad \text{troviamo} \qquad e \operatorname{sen} \varepsilon'' = 2^\circ\, 28',05$$

dunque $$\varepsilon''' = 52^\circ\, 28',05 \qquad (C)$$

Finalmente per una ulteriore quarta approssimazione, ponendo

$$\varepsilon^{IV} = \mu + e \operatorname{sen} \varepsilon''', \qquad \text{risulta} \qquad \varepsilon \operatorname{sen} \varepsilon''' = 2^\circ\, 28'\, 3'',6\,;$$

ossia $$\varepsilon^{IV} = 52^\circ\, 28'\, 3'',6\,. \qquad (D)$$

Il confronto dei risultati (C) e (D) dimostra, che il minuto di arco è assicurato, se poniamo come risultato finale $\varepsilon = 52^\circ 28'$.

ART. II. — DATA L'ANOMALIA ECCENTRICA TROVARE IL RAGGIO VETTORE DEL PIANETA.

475. — Il raggio vettore (r) da cercarsi (Fig. 250) è la linea $FV = r$. Dal triangolo rettangolo FDV abbiamo

$$r^2 = \overline{FV}^2 = \overline{FD}^2 + \overline{DV}^2 \begin{cases} FD = CD - CF = a\cos\varepsilon - ae; \\ DV : DV' = CB : CB' = b : a; \\ DV = \dfrac{DV' \cdot b}{a} = \operatorname{sen}\varepsilon \cdot b \end{cases}$$

sostituendo questi valori, risulta:

$r^2 = (a\cos\varepsilon - ae)^2 + b^2 \cdot \operatorname{sen}^2\varepsilon$; siccome poi $b^2 = a^2 - a^2e^2$;

$$r^2 = \begin{cases} = a^2\cos^2\varepsilon - 2a^2e\cos\varepsilon + a^2e^2 + a^2\operatorname{sen}^2\varepsilon - a^2e^2\operatorname{sen}^2\varepsilon; \\ = a^2(1 - 2e\cos\varepsilon + e^2 - e^2\operatorname{sen}^2\varepsilon); \\ = a^2[1 - 2e\cos\varepsilon + e^2(1 - \operatorname{sen}^2\varepsilon)]; \\ = a^2(1 - e\cos\varepsilon)^2 \end{cases}$$

ossia $$r = a(1 - e\cos\varepsilon) \qquad (2)$$

Digitized by Google

Essendo quindi $r = a - ae\cos\varepsilon$, si conclude, che il **raggio vettore** (di un pianeta nella sua orbita ellittica) è uguale alla differenza del semiasse maggiore (a) e dell'eccentricità lineare (ae), moltiplicata però quest'ultima pel coseno dell'anomalia eccentrica ($ae\cos\varepsilon$).

ART. III. — DATA L'ANOMALIA ECCENTRICA, TROVARE LA VERA.

476. — L'angolo V F D $= \alpha$ (Fig. 251), rappresenti l'**anomalia vera.**

$$\cos\alpha = \frac{FD}{FV} = \frac{a}{r}(\cos\varepsilon - e);\ \text{(cfr. num. 475)}$$

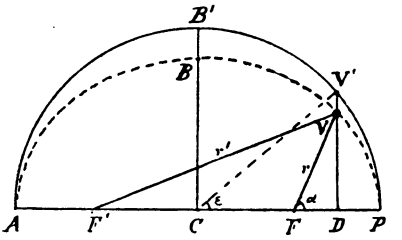


Fig. 251.

sostituendo il valore di r, dell'equaz. (2)

$$\cos\alpha = \frac{\cos\varepsilon - e}{1 - e\cos\varepsilon} \quad (3)$$

Per avere una formola più adattata al calcolo logaritmico (num. 224), si fa uso della formola generale trigonometrica:

$$\operatorname{tg}^2\frac{\alpha}{2} = \frac{1 - \cos\alpha}{1 + \cos\alpha};$$

sostituendo in essa il valore (3) per $\cos\alpha$ si ottiene:

$$\operatorname{tg}^2\frac{\alpha}{2} = \frac{1 - \dfrac{\cos\varepsilon - e}{1 - e\cos\varepsilon}}{1 + \dfrac{\cos\varepsilon - e}{1 - e\cos\varepsilon}} = \frac{1 - e\cos\varepsilon - \cos\varepsilon + e}{1 - e\cos\varepsilon + \cos\varepsilon - e} =$$

$$= \frac{1 - \cos\varepsilon + e(1 - \cos\varepsilon)}{1 + \cos\varepsilon - e(1 + \cos\varepsilon)} = \frac{(1 - \cos\varepsilon)(1 + e)}{(1 + \cos\varepsilon)(1 - e)} =$$

$$= \operatorname{tg}^2\frac{\varepsilon}{2} \cdot \frac{1 + e}{1 - e}.$$

Digitized by Google

Dunque $$\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = \operatorname{tg}\frac{\varepsilon}{2}\cdot\sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \qquad (4)$$

Una semplificazione ulteriore può aversi, sostituendo invece di e il suo valore trigonometrico

$$\operatorname{sen}\gamma = e = \cos(90^\circ - \gamma);$$

imperocchè

$$\frac{1+e}{1-e} = \frac{1+\operatorname{sen}\gamma}{1-\operatorname{sen}\gamma} = \frac{1+\cos(90^\circ-\gamma)}{1-\cos(90^\circ-\gamma)} =$$
$$= \operatorname{cotg}^2\left(\frac{90^\circ-\gamma}{2}\right) = \operatorname{cotg}^2\left(45^\circ - \frac{\gamma}{2}\right);$$

quindi

$$\sqrt{\frac{1+e}{1-e}} = \operatorname{cotg}\left(45^\circ - \frac{\gamma}{2}\right) = \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\gamma}{2}\right).$$

Sostituendo quest'ultimo valore nell'equazione (4), avremo

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = \operatorname{tg}\frac{\varepsilon}{2}\cdot\operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\gamma}{2}\right). \qquad (5)$$

COROLLARIO I. — TROVARE IL RAGGIO VETTORE PER MEZZO DELL'ANOMALIA VERA.

477. — Le formole (1), (3), (5) risolvono completamente il problema di Keplero. La (2) permette inoltre di calcolare il raggio vettore (r) mediante l'anomalia eccentrica. Chi preferisce di trovare il raggio vettore piuttosto per mezzo dell'anomalia vera, può fare uso della formola generale dell'ellisse

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos\alpha},$$

la quale si deduce in questo modo (Fig. 251)

$$r + r' = 2a; \qquad \text{ossia} \qquad r' = 2a - r$$

$$r'^2 = \overline{VD}^2 + \overline{F'D}^2 = \overline{VD}^2 + (F'F + FD)^2$$

$$r'^2 = \left\{\begin{array}{l} = r^2\operatorname{sen}^2\alpha + (2ae + r\cos\alpha)^2 \\ = r^2\operatorname{sen}^2\alpha + 4a^2e^2 + 4aer\cos\alpha + r^2\cos^2\alpha \\ = r^2 + 4a^2e^2 + 4aer\cos\alpha \end{array}\right\} = (2a-r)^2;$$

Digitized by Google

donde $r^2 + 4a^2e^2 + 4aer\cos\alpha = 4a^2 - 4ar + r^2$

dividendo per $4a$, si ottiene

$$ae^2 + er\cos\alpha = a - r \quad \text{ossia} \quad r(1 + e\cos\alpha) = a(1 - e^2);$$

donde risulta la formola finale

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e\cos\alpha}. \tag{6}$$

COROLLARIO II. — SOLUZIONE GRAFICA DEL PROBLEMA DI KEPLERO.

478. — La linea A B P (Fig. 252) rappresenti in lunghezza la semicirconferenza circolare A′C P′ (uguale al semicerchio A B′ P della figura precedente). Essendo il raggio [1] B C $= a$, sarà A P $= a\pi$. Dividendo P A, cominciando da P (perielio), in 180 parti uguali, ciascuna parte corrisponderà all' arco

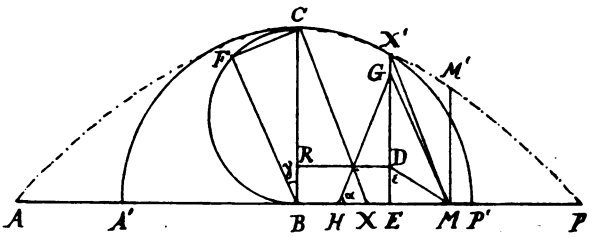


Fig. 252.

circolare di 1°. Si potrà quindi assegnare sopra di essa il punto M, corrispondente all'arco dell'anomalia media, cosicchè P M sia uguale a μ.

Costruendo sopra A P la curva dei seni A C P, e facendo M M′ $\perp$ A P, risulta

$$\text{M M}' = \text{sen}\,\mu \tag{7}$$

(1) Siccome i seni sono espressi in unità del raggio (a), si potrebbe anche nella costruzione semplicemente supporre $a = 1$; il quale termine allora sparisce nelle formole. L' abbiamo ritenuto, per rendere più facile il confronto colle formole generali dell' ellisse, nelle quali questa supposizione non si può sempre fare. (Cfr. n. 475).

Digitized by Google

Per trovare l'anomalia eccentrica, si divide A P in B in due parti uguali, si fa B C $\perp$ A P, si fa B X uguale alla nota eccentricità lineare ae (n. 455); congiungendo poi X con C, si fa M X' $\parallel$ X C, poi X' E $\perp$ B P; allora E P rappresenterà l'arco corrispondente all'anomalia eccentrica.

Infatti
$$E M : E X' = B X : B C ;$$
$$E M : \text{sen } E P = a e : a ;$$
$$E M = e \text{ sen } E P . \qquad (8)$$

Ora $$E P = E M + M P = e \text{ sen } E P + \mu$$

secondo (n. 472) $$\varepsilon = e \text{ sen } \varepsilon + \mu$$

dunque $$E P = \varepsilon ; \; E X' = \text{sen } \varepsilon . \qquad (9)$$

L'esattezza del risultato dipende dalla grandezza e precisione del disegno. Se la retta (A P = 180°) sia scelta abbastanza grande da poter fornire i singoli minuti, il numero di questi sarà subito ottenuto, e con esso una tale approssimazione al vero, che il metodo indicato (num. 473) sarà accorciato di molto. La stessa curva dei seni una volta costruita colla dovuta precisione, può poi servire in tutti i problemi somiglianti.

479. — Per la costruzione grafica del raggio vettore (r) e dell'anomalia vera (α) basterebbe leggere in E il numero dei gradi (minuti ecc.) dell'angolo ε, e con esso fare una ricostruzione esatta della figura 251. Ma anche mediante la presente figura (252) si può costruire direttamente quest'angolo ε, rappresentante l'anomalia eccentrica; e poi r ed α.

A ciò con un raggio M D = B X = ae si trova sulla E X' il punto D; l'angolo E D M sarà uguale ad ε; poichè

$$\text{sen } E D M = \frac{E M}{M D} = \frac{E P - M P}{M D} = \frac{\text{arco } \varepsilon - \text{arco } \mu}{a e} = \frac{a(\varepsilon - \mu)}{a e} = \frac{\varepsilon - \mu}{e} ;$$

quindi $$e \text{ sen } E D M = \varepsilon - \mu ;$$

Digitized by Google

ma secondo (1) num. 472

$$e \operatorname{sen} \varepsilon = \varepsilon - \mu \qquad \text{dunque} \qquad \operatorname{sen} EDM = \operatorname{sen} \varepsilon ,$$

e conseguentemente $\measuredangle EDM = \measuredangle \varepsilon$. (10)

Posto ciò, si fa $DR \parallel EB$; CR sarà il *raggio vettore* cercato; imperocchè

$$CR = CB - DE = a - ae\cos\varepsilon = a(1 - e\cos\varepsilon) = r . \quad (11)$$

L'ultimo termine dell'equazione è chiaro dalla formola (2) num. 475.

480. — L'anomalia vera si ottiene costruendo sulla BC (come diametro) il semicérchio BFC; un altro piccolo circolo intorno a C, col raggio $CF = BX = ae$, intersechi il primo in F; allora, conducendo le rette FB ed FC, nel triangolo rettangolo BFC avremo:

$$\operatorname{sen} FBC = \frac{FC}{BC} = \frac{ae}{a} = e = \operatorname{sen}\gamma ; \quad (12)$$

cioè γ rappresenta l'angolo di eccentricità, e siccome (num. 455)

$$\cos\gamma = \frac{b}{a} = \frac{FB}{BC} = \frac{FB}{a} ; \text{ sarà pure } FB = b \quad (13)$$

cioè FB rappresenta l'asse minore dell'ellisse. (14)

Posto questo, si conduca per M la retta $MG \parallel BF$; sarà $MG = EX' =$ sen arco EP; perchè $EM : MG = \operatorname{sen}\gamma = e$; quindi

$$MG = \frac{EM}{e} = \frac{e \operatorname{sen} EP}{e} = \operatorname{sen}\text{ arco } EP = a \operatorname{sen} \measuredangle \varepsilon \quad (15)$$

Ora descrivendo intorno a G (come centro) un circolo col raggio $GH = CR = r$, si trova sulla AP il punto H; ti-

Digitized by Google

rata la retta HG, l'angolo GHP rappresenta l'anomalia vera (α). (1)

Infatti

$$\text{sen GHP} = \frac{GE}{GH} = \frac{GM \cdot \cos\gamma}{r} = \frac{a \operatorname{sen}\varepsilon}{r} \cdot \frac{b}{a} = \frac{b}{r} \cdot \operatorname{sen}\varepsilon ;$$

d'altronde (vedi num. 477 e fig. 251)

$$\operatorname{sen}\alpha = \frac{VD}{FV} = \frac{b}{r} \cdot \operatorname{sen}\varepsilon ;$$

dunque $$\measuredangle GHP = \measuredangle \alpha \qquad (16)$$

COROLLARIO III. — APPLICAZIONE ALL'ORBITA TERRESTRE.

481. — Le cose esposte negli articoli precedenti valgono per tutte le orbite ellittiche, quindi l'applicazione all'orbita terrestre ne è soltanto un caso speciale. Per mezzo delle formole dimostrate, si calcola non soltanto la longitudine geocentrica del Sole e per conseguenza la longitudine eliocentrica della Terra (num. 468) ma anche il raggio vettore, corrispondente a qualunque tempo, ossia la distanza vera (la parallasse istantanea). Bisogna però tener conto dello spostamento del punto equinoziale Υ e della variazione dell'obliquità dell'eclittica, ecc., insomma di tutte quelle cose esposte di sopra, il calcolo delle quali viene non poco facilitato dalle indicazioni degli almanacchi astronomici. Per il modo di calcolare quelle quantità dobbiamo rimettere il lettore ai corsi superiori della Meccanica celeste, ai quali il presente volume vuol soltanto facilitare l'accesso e l'intendimento. Perciò anche nelle pagine seguenti, contentandoci del saggio dato fin qui, tralasceremo le questioni più intricate, le quali, oltre l'aiuto della matematica superiore, richiederebbero un'esposizione molto più ampia.

(1) L'ambiguità, se l'angolo α sia uguale all'angolo acuto (GHP) ovvero al suo supplemento GHA, si leva facilmente riflettendo (cf. fig. 251 num. 472) che quando $\alpha = 90°$, $\varepsilon = 90° - \gamma$; quindi se $\varepsilon < (90° - \gamma)$, sarà $\alpha < 90°$; se $\varepsilon > (90° - \gamma)$, $\alpha > 90°$. Il metodo può essere applicato per un valore qualunque dell'angolo α.

Digitized by Google

COROLLARIO IV. — EQUAZIONE DEL CENTRO.

482. — La differenza $(\alpha - \mu)$ tra l'anomalia vera (α) e l'anomalia media (μ) suol chiamarsi Equazione del centro.(1) Se nella Fig. 250 (num. 470), dal foco F conduciamo la retta $F M' \parallel C M$, l'angolo $V F M' = \varkappa = \alpha - \mu$ rappresenta questa equazione. Sviluppando l'espressione di α in serie secondo le potenze ascendenti dell'eccentricità e, si ottiene mediante il calcolo differenziale con abili sostituzioni finalmente la formola:

$$\alpha = \mu + 2\, e \operatorname{sen} \mu + \frac{5}{4} e^2 \operatorname{sen} 2\mu + \ldots$$

Ora quando l'eccentricità dell'orbita è una piccola frazione, come lo è veramente nel caso di tutti i pianeti, molto più piccolo sarà il suo quadrato, dimodochè senza errore sensibile si possono in quella serie trascurare le potenze maggiori di e e quindi scrivere:

$$\alpha = \mu + 2\, e \operatorname{sen} \mu;$$

quindi l'**equazione del centro** diventa:

$$\varkappa = \alpha - \mu = 2\, e \operatorname{sen} \mu.$$

Si noti però, che $\varkappa$ è qui espresso in parti del raggio, se si vuole averla in secondi di arco, bisogna moltiplicare il membro $2\, e \operatorname{sen} \mu$ per $206\,265''$ (Cfr. num. 156).

Nel caso dell'orbita terrestre si ottiene

$$2\, e\, 206\,265'' = 1^\circ\ 55'\ 16''; \text{ ossia } \varkappa_{\oplus} = \operatorname{sen} \mu\ (1^\circ\ 55'\ 16'').$$

(1) Si noti la differenza che passa tra l'*equazione del centro* e l'*equazione del tempo* (num. 109). Mentre la prima confronta la longitudine del sole vero con quella di un sole medio, girante con moto uniforme nel piano dell'eclittica, l'altra confronta l'ascensione retta del sole vero coll'ascensione retta di un sole medio (fittizio), girante con moto uniforme nel piano dell'equatore celeste. Si vede però facilmente il nesso che esiste tra l'una e l'altra; anzi confrontando l'una coll'altra si trova, che la differenza più forte nell'equazione del tempo non è tanto dovuta all'irregolarità del moto del Sole nell'orbita sua, quanto all'inclinazione di questa orbita verso l'equatore.

Digitized by Google

PARTE TERZA

MOVIMENTI DELLA LUNA

CAPITOLO I.

NOZIONI GENERALI E PRELIMINARI.

483. — Il corpo celeste, il quale dopo il Sole attrae più la nostra attenzione, è senza dubbio la Luna. Avendo nella parte precedente esposto la teoria dell'orbita apparente del Sole (vera della Terra), ora ci proponiamo di esaminare i varii moti della Luna, riservando lo studio della fisica costituzione e la cosidetta *Selenografia* [1] all'Astrofisica. Presso gli antichi la Luna godeva il privilegio di essere annoverata tra i pianeti principali (num. 314); provato il sistema (Copernicano) eliocentrico, la Luna, perdendo quel privilegio, è diventata una semplice pedissequa della Terra, un pianeta di secondo ordine, satellite della Terra. Cioè mentre la Terra compie nell'intervallo di un anno (tropico) il suo corso intorno al Sole, la Luna gira dodici volte intorno alla Terra, in maniera somigliante, come i satelliti di Giove girano in periodi determinati intorno al pianeta primario. A prima vista, il **moto geocentrico** della Luna sembra semplificare la teoria dei suoi movimenti; quello però che rende piuttosto complicata la cosa si è, che la forza attrattiva del Sole disturba non poco i varii movimenti della Luna, mentre questa descrive la sua orbita ellittica intorno alla Terra.

484. — Le apparenze esterne della Luna meritano prima di tutto una breve spiegazione. Essa apparisce come un disco luminoso perfettamente rotondo, che colla sua grandezza

(1) Dal greco σελήνη = *luna* e γράφω = *descrivo*.

Digitized by Google

apparente uguaglia più o meno quella del Sole.[1] La luce però, che manda a noi, non è luce propria, ma luce riflessa del Sole; così si spiega, che quando essa trovasi in congiunzione col Sole, cioè tra la Terra e l'astro del giorno, noi vediamo soltanto un emisferio oscuro; quando invece sta in opposizione, la vediamo tutta luminosa; e siccome nelle successive lunazioni ritorna in quelle posizioni, passando per tutte le fasi intermedie, ne nasce quella nota variazione delle **fasi lunari**: Novilunio ●, Primo Quarto ☽, Plenilunio ○, Ultimo Quarto ☾. La linea terminatrice tra luce e l'ombra, colle sue varie forme ellittiche, fa pure manifesto, come osservò già Aristotele (num. 290), il corpo lunare essere un globo; donde quei nomi Primo ed Ultimo «*Quarto*», indicano giustamente, che soltanto la quarta parte del globo apparisce a noi illuminato, benchè veramente la metà (ora la destra ora la sinistra)[2] del disco visibile sia allora illuminata. Dal Novilunio fino al Plenilunio la fase luminosa cresce; passata la Luna piena, decresce fino alla Luna nuova seguente, onde si parla nel primo caso di Luna crescente, nel secondo di Luna decrescente (calante).[3]

485. — Al tempo del novilunio la Luna, attraversando lo zodiaco, passa ordinariamente un poco al disopra, ovvero al disotto del Sole; altrimenti ad ogni congiunzione col Sole ci sarebbe un eclisse solare, come veramente accade talvolta. La Luna in congiunzione si avvicina però sempre tanto al Sole, che immersa nei raggi solari, diventa per parecchi giorni affatto invisibile agli abitatori della Terra. Due o tre giorni dopo il novilunio la si vede ricomparire di nuovo, verso

(1) Siccome però l'apparente diametro solare varia colla variante distanza dalla Terra, così quello della Luna (tra 33′ 33″,6 e 29′ 23″,6). Ciò mostra già che l'orbita lunare è abbastanza eccentrica.

(2) Il Novilunio e Plenilunio viene anche distinto col nome *sizigie* (dal greco συζυγία = *congiunzione*); poichè a quel tempo Sole, Terra e Luna trovansi pressochè in una linea retta; le fasi del primo ed ultimo quarto s'indicano invece col nome *dicotomia* (διχοτομία = *bisezione*).

(3) La Luna Crescente (☽), almeno per noi Europei, richiama alla mente la lettera D, la Luna Decrescente (☾) invece la lettera C; donde i Latini dicevano: « *Luna fallax* » o « *mendax* ». Un proverbio popolare italiano indica direttamente la fase crescente o decrescente col dire: « Gobba a ponente - Luna crescente; gobba a levante - Luna calante ».

Digitized by Google

levante dal Sole, con una falce tenuissima di luce; tramonta quindi poco tempo dopo lo stesso Sole. L'intervallo tra il tramonto del Sole e della Luna da un giorno all'altro cresce, in conseguenza del crescente intervallo di spazio tra i due astri; cresce poi allo stesso tempo la falce luminosa (voltata verso il Sole). Circa sette giorni dopo il novilunio (N) (Fig. 253), la Luna trovasi presso il meridiano verso il tramonto del Sole; si vede il Primo Quarto, la distanza angolare dal Sole (S) è di 90°; la Luna sta in Quadratura (Q') col Sole (☽ □ ☉). Questa distanza angolare, a cagione del moto diretto della Luna tra le stelle, cresce continuamente fino al tempo dell'opposizione ossia del plenilunio (P); allora la Luna levasi sull'orizzonte verso il tramonto del Sole e rimane visibile tutta la notte. Se la Terra al tempo del plenilunio trovasi sulla linea, che congiunge la Luna col Sole, essa getta la sua ombra sulla Luna, cagionando un'eclisse lunare; fenomeno del quale tratteremo in un capitolo speciale.

486. — Passato il plenilunio, la distanza angolare della Luna dal Sole, diminuendo dal lato orientale della Luna, produce un decrescimento della fase luminosa dalla parte occidentale. Di nuovo, circa sette giorni dopo il novilunio, si osserva la seconda quadratura (Q'') ossia l'Ultimo Quarto; la Luna trovasi presso il meridiano circa il tempo del levar del Sole. La falce luminosa va poi sempre più diminuendo coll'avvicinarsi della Luna all'astro del giorno, nei raggi del quale scomparisce di nuovo due o tre giorni prima del novilunio.

L'orbita apparente mensile, descritta in questo modo dalla Luna, si proietta sulla sfera celeste come un circolo massimo, il piano del quale è poco (5°) inclinato all'eclittica, dimodochè le quattro fasi principali corrispondono alle varie elongazioni dal Sole: ☉ a 0°, ☽ a 90°, ☉ a 180°, ☾ a 270°.

487. — Tutta questa **variazione delle fasi lunari** si spiega naturalmente colla supposizione, che il globo opaco della Luna L (Fig. 253) descriva un'orbita pressochè circolare intorno alla Terra T, essendo come questa illuminato il solo emisferio, voltato verso il Sole S. Il Sole poi trovasi ad una distanza tale dal sistema (♁ ☽), che i suoi raggi in tutto l'ambiente dell'orbita lunare sono sensibilmente paralleli.

Digitized by Google

Da ciò si vede, che non deve essere cosa difficile, di calcolare per qualunque posizione della Luna la fase rispettiva, l'**età della Luna.** Siccome questa cosa però interessa più l'Astrofisica che non l'Astromeccanica, la riserviamo come le altre questioni sulla costituzione fisica per un luogo più opportuno.

488. — La questione sulla **rotazione della Luna** intorno ad un asse proprio viene sciolta senz'altro dal fatto, che noi sulla Terra vediamo sempre la stessa configurazione di macchie, la stessa faccia lunare. Da ciò segue, che la Luna mentre compie un giro intero (siderale) intorno alla Terra, si rivolge anche una volta intorno ad un asse pressochè perpendicolare alla sua orbita. La piccola freccia presso L indichi la direzione di un punto (equatoriale) della Luna voltato verso la Terra (♁), la freccia più lunga la direzione di una stella S; allora è chiaro che l'angolo formato da queste due freccie percorre tutti i gradi successivi (da 0° a 360°), mentre la Luna gira intorno alla Terra (♁). Vedremo che questa rotazione, come quella del globo terrestre, è perfettamente uniforme; il suo periodo è veramente uguale a quello di una rivoluzione, ed inoltre l'asse di rotazione poco differente da quella della perpendicolare al piano dell'orbita, mantiene costantemente la stessa direzione nello spazio.

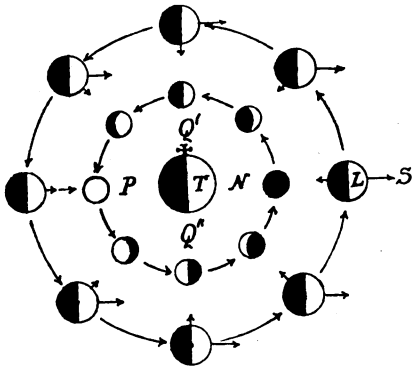


Fig. 253.

CAPITOLO II.

L'ORBITA LUNARE ED I SUOI ELEMENTI.

489. — **L'inclinazione dell'orbita e la linea dei nodi** possono determinarsi, misurando giornalmente l'ascensione retta e la declinazione del centro lunare, trasformando poi queste

Digitized by Google

coordinate equatoriali in eclitticali. Tali osservazioni dimostrano, che le latitudini della Luna due volte diventano nulle, e due volte hanno un massimo; cioè uno boreale, l'altro australe. I punti sull'eclittica, dove la latitudine è nulla, sono quasi diametralmente opposti; essi segnano i due nodi, cioè il nodo ascendente (☊) e il nodo discendente (☋); i due massimi sono pressochè uguali (5° 9′), ed indicano senz'altro l'inclinazione dell'orbita. Quest'inclinazione si mantiene quasi costante, ma non così la linea dei nodi, ossia la direzione della linea di intersezione del piano dell'orbita con quello dell'eclittica. Osservando per esempio la longitudine di due passaggi ascendenti successivi della Luna attraverso l'eclittica, si scopre subito, che la seconda longitudine osservata è

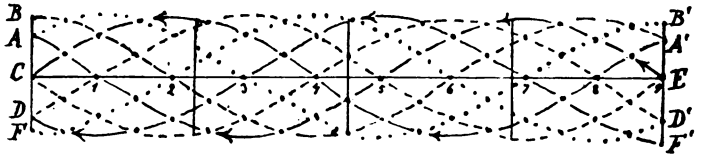


Fig. 254.

minore della prima, la terza minore della seconda e così via. Insomma il nodo ☊ (lo stesso dicasi del ☋) si sposta lentamente in senso retrogrado sull'eclittica; percorrendo con moto abbastanza uniforme tutta la circonferenza di 360° in 18 anni e 218 giorni, cioè $19\frac{1}{3}°$ all'anno.

La figura 254, che rappresenta la parte interna di uno sviluppo cilindrico (num. 75) della zona del zodiaco razionale (num. 34) può darci un'idea di questo movimento; la retta EC sia l'eclittica proiettata, le linee sinussoidali E_1A, A'_2B, B'_3A ecc. rappresentino le varie posizioni dell'orbita lunare, dopo l'intervallo di due anni; allora i numeri 1, 2, 3 ecc. indicano senz'altro la retrogradazione corrispondente dei nodi ascendenti da C verso 1, 2, 3 ecc.

490. — Il tempo periodico di una rivoluzione lunare intorno alla Terra è vario secondo il termine diverso di confronto. Possiamo cioè osservare l'intervallo di tempo trascorso tra due appulsi della Luna allo stesso nodo, ed avremo una

Digitized by Google

rivoluzione dragonitica [1] – osservando il ritorno alla medesima longitudine (♈), avremo una rivoluzione tropica – il ritorno alla stessa stella indica la rivoluzione siderale – quello al perigeo la rivoluzione anomalistica – e finalmente il tempo trascorso tra due appulsi al Sole la rivoluzione sinodica. [2] Lo specchietto seguente dà questi varii periodi in tempo medio solare.

Num.	Rivoluzione	Giorni	Giorni	Ore	Minuti	Sec.
I	Dragonitica . .	27,2122192	27	5	5	35,7
II	Tropica.	27,3215813	27	7	43	4,64
III	Siderale.	27,3216607	27	7	43	11,43
IV	Anomalistica. .	27,5545505	27	13	18	33,2
V	Sinodica	29,5305877	29	12	44	2,8

491. — Tutti questi periodi si chiamano anche mesi, distinguendo il mese dragonitico, dal tropico ecc. Parlando però del mese, senza altra aggiunta, s'intende ordinariamente il *mese sinodico* ossia una **lunazione**, durante la quale ritornano successivamente le medesime fasi. La durata più lunga di questa rivoluzione è una conseguenza del moto proprio apparente del Sole, il quale percorre durante lo stesso periodo un segno intero dello Zodiaco; donde la Luna, compita la rivoluzione tropica deve percorrere ancora questo spazio, per raggiungere di nuovo l'astro del giorno. Siccome poi, tanto il moto del Sole, quanto quello della Luna, non sono uniformi, ne nasce anche una varia lunghezza delle diverse lunazioni nello stesso anno tropico. Generalmente parlando dal principio di ottobre fino al principio di aprile le lunazioni sono un po' più lunghe di quelle dell'altro mezz'anno; perchè allora lo sposta-

(1) Il nome sembra derivato dall'astrologia (arabica), la quale fingeva l'orbita lunare a cagione della figura serpentina (cf. Fig. 254) come un dragone attortigliato intorno all'eclittica; metà di questo circolo massimo essendo occupato dal corpo, l'altra metà dalla coda. I segni stessi ☊, ☋ alludono a quella figura. Capo del dragone era quindi sinonimo col nodo ascendente, coda del dragone col nodo discendente.

(2) Dal greco σύνοδος = *congresso*.

Digitized by Google

mento angolare del Sole è maggiore. La rivoluzione sinodica, indicata nello specchietto (num. 490), esprime il valore medio.

492. — La posizione della linea degli absidi, ossia dell'asse maggiore dell'orbita ellittica, si determina in modo del tutto analogo a quello esposto rispetto al Sole (num. 458), osservando cioè i massimi e minimi, sia del diametro apparente del disco lunare, sia della velocità angolare del moto nell'orbita. Facendo parecchie di tali determinazioni, e notando ogni volta la longitudine del perigeo (Fig. 255), si vede che l'asse maggiore P A non ritiene sempre la stessa posizione nel piano dell'orbita P L A, ma avanza circa 3° ad ogni rivoluzione da P verso P′ con moto diretto e quasi uniforme, compiendo un giro intero in circa 9 anni (più esattamente in 3231,5 giorni). Lo stesso dicasi dell'apogeo A, rispettivamente A′, la longitudine del quale dista naturalmente sempre 180° dal perigeo P, P′.

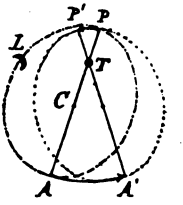


Fig. 255.

493. — L'eccentricità dell'orbita lunare. — I diametri apparenti di un oggetto, osservato a diverse distanze, stanno tra loro in ragione inversa delle distanze rispettive; basta quindi misurare il diametro apparente della Luna al tempo del perigeo ed apogeo, per dedurne la distanza rispettiva P T e A T (Figura 255) dalla Terra. Ora il diametro lunare, tenendo conto della parallasse e della piccola variabilità delle distanze medesime, in media varia tra un massimo di $32' 49'' = 1969''$, ed un minimo di $29'23'' = 1763''$. Avremo quindi chiamando secondo il solito e l'eccentricità (numerica)

$$P T : A T = 1 - e : 1 + e = 1763 : 1969;$$

donde risulta

$$e = 206 : 3732 = 0{,}055.$$

Quest'eccentricità, più grande di quella dell'orbita terrestre, spiega la grande variabilità nella velocità angolare del moto apparente diurno.

494. La distanza media della Luna dalla Terra, ossia il semiasse maggiore dell'orbita lunare (Fig. 256) si de-

Digitized by Google

termina direttamente per mezzo della misura della parallasse lunare. Se non vi fossero gli inconvenienti della rifrazione atmosferica, e se la Terra avesse una figura perfettamente sferica, la determinazione sarebbe assai facile.

Infatti congiungiamo il centro lunare L, con quello della Terra T, e tiriamo da L una tangente L A al globo terrestre; allora un osservatore terrestre (trovandosi sulla linea T L) avrebbe il centro lunare al suo zenit, mentre un altro in A l'avrebbe all' orizzonte. L' angolo A T L sarebbe il complimento della parallasse $\sphericalangle$ A L T $= p$, cioè dell'angolo, sotto il quale un osservatore collocato in L, vedrebbe il raggio ter-

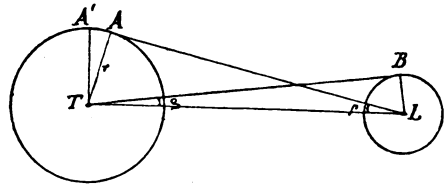


Fig. 256.

restre A T $= r$ (num. 267). Imperocchè, facendo T A' $\perp$ T L, avremo $\sphericalangle$ A T A' $= \sphericalangle$ A L T $= p = 90^\circ - \sphericalangle$ A T L.

Di più, conducendo al globo lunare da T la tangente T B, e congiungendo B con L, l'angolo L T B $= \rho$ misura dal centro della Terra T il raggio lunare B L $= r'$; ponendo la distanza ♀ ☽ $=$ T L $= d$, avremo:

$$\operatorname{sen} p = \frac{r}{d}\,;\ \operatorname{sen} \rho = \frac{r'}{d}\,;\quad \text{quindi}\quad \operatorname{sen} p : \operatorname{sen} \rho = r : r'\,;$$

cioè il rapporto dei detti seni è costante.

495. — La distanza media della Luna dalla Terra si trova in questo modo essere uguale a circa 60 raggi terrestri; per determinarla con maggiore precisione, bisogna tener conto della figura sferoidale della Terra, distinguere nelle misure da prendersi lo zenit vero dall'apparente (num. 309), la latitudine geografica dalla geocentrica, supposto che la Luna si trovi ad un' altezza qualunque sull' orizzonte rispettivo. Consideriamo, per esempio, il caso che due osservatori A e A' si trovino sullo stesso

Digitized by Google

meridiano P E P' (Fig. 257), e per maggiore semplicità del problema, alla latitudine geografica boreale (φ) dell'uno, corrisponda una identica, ma australe (φ), dell'altro. Osservando il passaggio della Luna L al meridiano, si osservano le distanze zenitali apparenti $\sphericalangle$ Z A L $= z$, e $\sphericalangle$ Z' A' L $= z'$, calcolando le distanze zenitali vere $\sphericalangle$ X A L $= x$, ed X'A'L $= x'$; congiungendo poi C (centro della Terra) con L (centro lunare), L $= d$ rappresenterà la distanza cercata della Luna; mentre gli angoli A L C $= p$

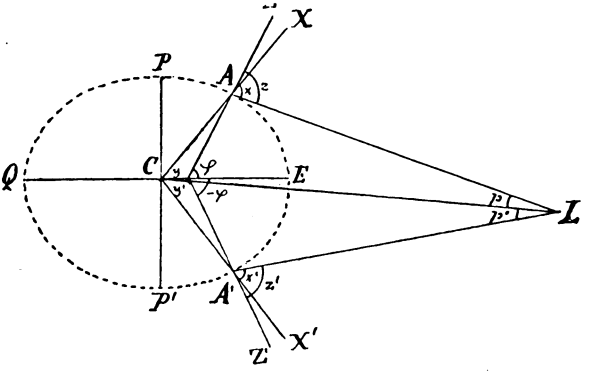


Fig. 257.

ed A'LC $= p'$, rappresentano le rispettive parallassi di altezza.

496. — I due raggi terrestri A C $=$ A'C siano uguali ad r, allora dai due triangoli A C L ed A'C L abbiamo

$$\text{sen } p : \text{sen } (180° - x) = \text{sen } p : \text{sen } x = r : d$$
$$\text{sen } p' : \text{sen } (180° - x') = \text{sen } p' : \text{sen } x' = r : d$$

quindi

$$\text{sen } p : \text{sen } p' = \text{sen } x : \text{sen } x' \text{ ; ossia}$$

$\text{sen } p + \text{sen } p' : \text{sen } p - \text{sen } p' = \text{sen } x + \text{sen } x' : \text{sen } x - \text{sen } x'$; applicando le note formole generali trigonometriche, la precedente formola si cambia in quest'altra:

$$\frac{2 \text{ sen} \dfrac{p+p'}{2} \cdot \cos \dfrac{p-p'}{2}}{2 \text{ sen} \dfrac{p-p'}{2} \cdot \cos \dfrac{p+p'}{2}} = \frac{2 \text{ sen} \dfrac{x+x'}{2} \cdot \cos \dfrac{x-x'}{2}}{2 \text{ sen} \dfrac{x-x'}{2} \cdot \cos \dfrac{x+x'}{2}} ;$$

Digitized by Google

cioè

$$\operatorname{tang}\frac{p+p'}{2}\cdot\operatorname{cotg}\frac{p-p'}{2}=\operatorname{tang}\frac{x+x'}{2}\cdot\operatorname{cotg}\frac{x-x'}{2}$$

ossia

$$\operatorname{cotg}\frac{p-p'}{2}=\frac{\operatorname{tang}\frac{x+x'}{2}\cdot\operatorname{cotg}\frac{x-x'}{2}}{\operatorname{tang}\frac{p+p'}{2}}. \qquad (1)$$

$$p+p'=\measuredangle \mathrm{ALA}'=z+z'-2\varphi.$$

Essendo quindi conosciute tutte le quantità dell'ultima equazione (1), eccettuata l'incognita $(p-p')$, questa si calcola facilmente. Trovata questa, si trovano i singoli valori per p e per p'; donde risulta il valore di d, cioè della distanza della Luna dalla Terra al tempo dell'osservazione. Conoscendo d ed il raggio equatoriale della Terra, si calcola la **parallasse orizzontale equatoriale** mediante la nota formola (n. 311). Il valore medio di questa parallasse è $57'2'',06$, la distanza relativa del centro della Luna da quello della Terra $60,_{2778}$ raggi equatoriali terrestri, ossia 384 420 chilom. Donde si deduce per il **raggio della Luna** $r\mathbb{D}=0,27264\ r\oplus=1739$ chilom.

CAPITOLO III.

DISUGUAGLIANZE NEI MOTI DELLA LUNA

497. — La Luna, diceva già Plinio, coi suoi movimenti complicati, ha vessato non poco l'ingegno degli osservatori, ai quali sembrava essere una cosa vergognosa, d'ignorare gli elementi dell'astro più vicino.[1] L'eccentricità relativamente con-

(1) « Multiformi haec ambage torsit ingenia contemplantium, et proximum ignorari maxime sidus indignantium ». Plinius, Nat. hist. II, 9.

Digitized by Google

siderevole dell'orbita, fece apparire il moto apparente, che secondo le opinioni degli antichi avrebbe dovuto essere uniforme, assai disuguale. Questa però, come le altre disuguaglianze più notevoli, trovarono spiegazione sufficiente dopo la scoperta delle leggi di Keplero e della gravitazione universale. L'applicazione però particolareggiata di queste leggi alla Luna non è mica una cosa facile; poichè, mentre la Luna gira intorno alla Terra, tutto il sistema ☉☽ si trasporta intorno al Sole. Da ciò nasce per la Luna una curva epicicloidale ALL'A' (Fig. 258) intorno al Sole, della quale l'orbita TT' della Terra rappresenta il deferente. (1) Il centro di gravità del sistema giace però ancora nell'interno del preponderante globo terrestre, e la Terra essendo 400 volte più vicina alla Luna che non il Sole, costringe questa a farle da satellite; nondimeno la massa solare, ben 355 000 volte più grande della Terra, fa sentire il suo influsso ora più ora meno, secondochè la Luna trovasi dalla parte interna (A) od esterna (L) dell'orbita terrestre.

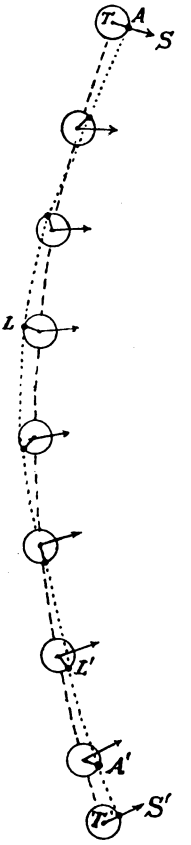


Fig. 258.

Si oltrepasserebbe lo scopo prefissoci in quest'opera, se volessimo esporre in questo capitolo l'intricatissima teoria di queste perturbazioni dell'andamento della Luna; ci contenteremo di indicare brevemente i risultati più rilevanti, riservando per un altro luogo un'esposizione più ampia sulle perturbazioni in generale.

498. — Le variazioni degli elementi lunari, delle quali alcune già si trovano accennate nel capitolo precedente, sono conseguenze delle anzidette perturbazioni. Così lo

(1) Alcuni libri popolari, rappresentando in piccolo l'orbita terrestre, intorno al Sole, col moto epicicloidale della Luna, potrebbero far credere, che l'orbita della Luna ad ogni novilunio diventi convessa verso il Sole, mentre in realtà l'orbita sempre e dappertutto rimane concava dalla parte del Sole.

Digitized by Google

spostamento della linea degli absidi, e dei nodi, la variazione dell'inclinazione e dell'eccentricità. Ma, per ottenere l'esatta posizione della Luna, bisogna pur tenere conto di altre disuguaglianze, delle quali specialmente tre si distinguono coi nomi particolari di evezione, variazione ed equazione annua. Non basta quindi conoscere la posizione (longitudine) del perigeo ed il moto medio, che col numero dei giorni trascorsi dopo il passaggio al perielio fornisce la longitudine media; non basta conoscere l'equazione del centro (num. 482), cioè la differenza $\varkappa = \alpha - \mu = \pm 6°17'31''$ tra l'anomalia vera (α) e la media (μ), ma ci vuole ancora l'aggiunta di tre altri termini (evezione + variazione + equazione annua), per rendere identici i risultati della longitudine calcolata con quella osservata.

499. — L'evezione [1] modifica la longitudine media di $\pm 1°16'27''$, quantità così considerevole, che non potè sfuggire all'attenzione degli stessi astronomi antichi. E difatti Ipparco già conobbe questa disuguglianza della Luna, e Tolomeo la inserì con grande sagacità nella sua teoria con un epiciclo eccentrico, aggiunto all'orbita della Luna.

Siano $l☽$ ed $l☉$ le longitudini medie della Luna e del Sole, μ l'anomalia media della Luna, allora l'angolo, del quale l'anomalia vera (α) supera la media (μ), è dato dalla formola dell'evezione [2]

$$E = 1°\,20'30''\,\mathrm{sen}\,[2\,(l☽ - l☉) - \mu]$$

la differenza $l☽ - l☉$ è nulla al tempo del novilunio, invece $l☽ - l☉ = 180°$ al tempo del plenilunio; quindi in ambedue

(1) La parola latina *evectio* (*escursione*) accenna al fatto, che la Luna è portata fuori dell'orbita regolare, dovuta all'attrazione della Terra sola. Il nome è stato dato dall'astronomo francese Boulliau (lat. *Bullialdus*, † 1694). Tolomeo, spiegando il fenomeno colla teoria d'un epiciclo eccentrico, lo chiamò προσνεύσις (nutazione dell'epiciclo)

(2) Il membro primo della formola ($1°\,20'\,30''$) risulta da un grande numero di osservazioni. Vari autori ne dànno un valore un po' diverso: $1°\,19'\,30''$ (Tolomeo), $1°\,15'$ (Tycho), $1°\,18'\,50''$ (Flamteed), $1°\,20'\,28''$ (La Lande).

Digitized by Google

questi casi, cioè al tempo delle sizigie, l'evezione avrà il valore

$$E' = -(1^\circ\ 20'\ 30'')\ \text{sen}\ \mu;$$

al tempo delle quadrature invece avremo pel primo quarto $l☽ - l☊ = 90^\circ$, per l'ultimo quarto $l☾ - l☊ = 270^\circ$; il valore dell'evezione diventa

$$E'' = (1^\circ\ 20'\ 30'')\ \text{sen}\ \mu\ .$$

Dunque al tempo delle sizigie l'evezione diminuisce l'equazione del centro (num. 482)

$$[\varkappa = \alpha - \mu = (6^\circ\ 17'\ 32'')\ \text{sen}\ \mu]$$

cioè $$\varkappa + E' = (5^\circ\ 57'\ 2'')\ \text{sen}\ \mu;$$

mentre al tempo delle quadrature l'ingrandisce, essendo

$$\varkappa + E'' = (7^\circ\ 38'\ 2'')\ \text{sen}\ \mu\ .$$

Siccome nella formola c'entra con μ anche la posizione del perigeo, il periodo dell'evezione è un po' più grande del mese sinodico; conta cioè 31,8 giorni, finiti i quali ricomincia la stessa successione dei singoli valori tra $+\ 1^\circ\ 20'30''$ a $-\ 1^\circ\ 20'30''$.

500. — Variazione chiamasi un'ulteriore disuguaglianza dei moti lunari, scoperta da Tycho Brahe (1590), la quale cambia la longitudine della Luna piuttosto nei punti intermedii tra le sizigie e le quadrature, cioè nei cosidetti Ottanti.[1] La variazione viene espressa dalla formola:

$$V = 2142''\cdot \text{sen}\ 2\,(l☽ - l☊)\ .$$

Se $l☽ - l☊ = \left\{\begin{matrix} 45^\circ \\ 225^\circ \end{matrix}\right\}$; $\text{sen}\ 2\,(l☽ - l☊) = \text{sen}\ 90^\circ = 1$,

la longitudine media lunare deve aumentarsi di $2142'' = 35'42''$.

Se $l☽ - l☊ = \left\{\begin{matrix} 135^\circ \\ 315^\circ \end{matrix}\right\}$; $\text{sen}\ 2\,(l☽ - l☊) = \text{sen}\ 270^\circ = -1$,

la longitudine media deve diminuirsi di $35'42''$.

(1) Dal latino *Octans* ($\frac{1}{8}$). I punti corrispondenti ad $\frac{1}{8}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{5}{8}$, $\frac{7}{8}$ della periferia del circolo chiamansi Ottanti. — Pare che il fatto della variazione fosse già stato conosciuto dall'astronomo arabo Abul Wefa (sec. x).

Digitized by Google

Generalmente parlando la correzione da applicarsi alla longitudine della Luna nel primo e terzo quadrante dell'orbita (geocentrica), dove $l☽ - l☍$ trovasi tra 0° e 90° ovvero tra 180° e 270°, sarà positiva, mentre nel secondo e quarto quadrante sarà negativa. Del resto il periodo è di 14,8 giorni soltanto, cioè la metà della lunazione sinodica.

501. — Equazione annua si chiama finalmente una terza disuguaglianza, prodotta dalla variabilità della distanza del Sole dalla Terra (ossia dal sistema ☉ ☽). Quando al principio di gennaio la Terra trovasi nel perielio, il Sole (almeno nei tempi nostri) è più vicino, che non al principio di luglio, cioè quando la Terra sta nell'afelio. Conseguentemente l'influsso del Sole sui movimenti della Luna si fa più sentire nel primo, che non nel secondo periodo. L'attrazione del Sole produce nel moto di traslazione della Luna intorno alla Terra un certo ritardo, variabile colla distanza ☍ ☽; cioè quando la Luna trovasi più vicina al Sole (nell'inverno) il ritardo è maggiore; quando è più lontana (nell'estate), il ritardo è minore. Perciò la rivoluzione siderale della Luna nell'inverno è un po' più lunga, che non nell'estate. Questo termine di correzione della longitudine dipende quindi, come già osservò lo stesso Tycho Brahe, dall'eccentricità dell'orbita terrestre ed ha per argomento l'anomalia del Sole; il suo periodo è l'anno anomalistico, il valore però non supera $\pm$ 11′. La formola per l'equazione annua si può scrivere così

$$A = -(11' 12'') \operatorname{sen} \mu ☍,$$

nella quale $\mu ☍$ significa l'anomalia media del Sole. Trovandosi $\mu ☍$ tra 0° e 180°, essa cagiona un ritardo della Luna dietro la longitudine media, con un massimo — 11′ 12″, corrispondente a $\mu ☍ = 90$. Per $\mu ☍$ tra 180° e 360°, essendo sen $\mu ☍$ negativo, A diventa positivo con un massimo + 11′ 12″, corrispondente all'anomalia media solare 270°. Quando $\mu ☍ = 0°$ ovvero 180°, anche $A = 0$.

Si noti poi, siccome l'argomento $\mu ☍$ è identico a quello dell'equazione del centro (dell'orbita solare o terrestre, num. 482), ma con segno opposto, che a cagione dell'equazione annua il luogo vero della Luna differisce tanto più dal medio, quanto più il Sole medio dal vero, ma in senso contrario.

Digitized by Google

502. — Riassumendo le correzioni da farsi, per ottenere **la longitudine vera della Luna** (l_v), aggiungendo cioè alla longitudine media (l_m) l'equazione del centro ($\varkappa$), l'evezione (E), la variazione (V), l'equazione annua (A), avremo la formola:

$$l_v = l_m + \varkappa + E + V + A.$$

Quando però la longitudine da calcolarsi si estende a tempi (più di un secolo) distanti, allora un piccolo resto di ineguaglianza si rende sensibile; che perciò ha ricevuto il nome **equazione secolare**. Questa fu scoperta da Halley (1697), il quale comparando le eclissi del suo tempo con quelle degli antichi, scoprì una piccola diminuzione del mese siderale, dovuta all'attrazione, ossia alle perturbazioni, cagionate dai varii pianeti. L'influsso cioè dei pianeti tende a diminuire l'eccentricità dell'orbita terrestre, e diminuire con ciò la distanza media del Sole dalla Terra, che produce poi un'accelerazione[1] del moto della Luna. — Denotando con n il numero dei secoli trascorsi dopo l'anno 1800, l'aumento della longitudine media della Luna (sec. Hansen) sarebbe espresso dalla semplice formola dell'equazione secolare

$$S = n^2 \; 12'',18,$$

donde per gli anni 1900 2000 2100 ecc. si avrebbero per S i valori rispettivi $12'',18$ $4.12'',18$ $9.12'',18$ ecc.

ossia $12'',18$ $48'',72$ $1'49'',62$ ecc.

Non occorre osservare, che questi numeri, prima di poter essere considerati definitivi, hanno bisogno di ulteriore controllo colle osservazioni da farsi coi metodi più perfezionati dei nostri tempi.

(1) Alcuni usano anche semplicemente il nome di accelerazione (secolare). Gli astronomi non sono d'accordo intorno alla correzione da farsi; così p. es. Delaunay invece di $12'',18$ vorrebbe $6'',11$ soltanto, Newcomb, $8'',82$. Di più, Delaunay vorrebbe attribuire questa accelerazione ad una mera apparenza, prodotta da un rallentamento della rotazione della Terra. Insomma, si vede che gli ultimi minuti secondi, nei moti lunari cotanto sturbati, non sono ancora teoricamente spiegati.

Digitized by Google

COROLLARIO. — PERTURBAZIONE DEI MOTI LUNARI NEL SENSO DELLA LATITUDINE.

503. — A cagione dell'inclinazione dell'orbita lunare al piano dell'eclittica, gli spostamenti straordinari della Luna, che cambiano la longitudine media della medesima, esercitano anche il loro influsso sulla latitudine, però in un modo molto meno sensibile. La più considerevole perturbazione, quella dell'evezione (che produce una differenza di longitudine di $\pm$ 1° 16′ 27″), in latitudine produce soltanto una differenza di $\pm$ 9′. Le altre piccole variazioni sono piuttosto risultato della teoria dell'attrazione universale, che dell'osservazione, la quale teoria dal fatto, che arriva a decifrare movimenti così intricati, come sono appunto quelli del nostro satellite, riceve una nuova e bellissima conferma.

Altre considerazioni, che riguardano piuttosto l'aspetto fisico ed il corpo lunare in sè, riserviamo al libro seguente dell'Astrofisica.

CAPITOLO IV.

TEORIA DELLE ECLISSI.

ART. 1. — NOZIONI GENERALI SULLE ECLISSI LUNARI E SOLARI.

504. — I varii movimenti del sistema Sole-Terra-Luna (☉ ♁ ☽) producono una classe di fenomeni, conosciuti sotto il nome di eclissi.[1] Quando cioè la Luna al tempo del novilunio passa tra la Terra ed il Sole, la sua latitudine talvolta è tanto piccola, che per noi sulla Terra il Sole viene occultato, almeno parzialmente, dal disco oscuro della Luna: ha luogo un'**eclisse solare**. Anzi, quando al momento della congiun-

(1) Il nome è derivato dal greco ἡ ἔκλειψις, latino eclipsis (genere femm.). L'espressione italiana (eclisse, ecclissi, ecc.) lascia un po' di libertà tanto nell'ortografia quanto nel genere; siccome però il nome eclittica, derivata dalla stessa parola greca (num. 33), viene scritto sempre con un *c* solo, noi preferiamo, come più logico, il modo di dire la eclisse.

Digitized by Google

zione (☉ ☌ ☽) i centri dei tre corpi trovansi in una linea retta, essendo nulla la latitudine della Luna, l'eclisse solare è centrale, e se inoltre la Luna sta abbastanza vicina alla Terra, cosicchè il suo diametro apparente uguagli, o anche superi quello del Sole, l'eclisse è totale; sarà invece anulare, se il disco apparente della Luna è minore di quello del Sole; cioè intorno al disco oscuro della Luna nuova si vede un anello lucido del prominente disco solare.

Similmente quando al tempo del plenilunio, la Terra trovasi tra la Luna ed il Sole, può accadere, che il globo terrestre intercetti i raggi solari in modo tale, che non possano arrivare alla Luna. Questa troverassi nell'ombra della Terra: vi sarà

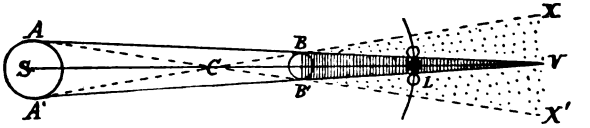


Fig. 259.

un'**eclisse lunare**, parziale o totale, secondo le circostanze ora da spiegarsi.

505. — Pertanto il circolo A A′ (Fig 259) rappresenti il globo solare, B B′ quello della Terra.

Le tangenti comuni A B ed A′ B′ s'incontrino nel vertice V; il triangolo B V B′ rappresenta la sezione di un **cono ombroso**, nell'interno del quale i raggi solari (rettilinei)[1] non possono penetrare; conseguentemente un corpo oscuro L, totalmente immerso in questo cono, sarà anche totalmente eclissato; se l'immersione è parziale, anche l'eclisse sarà parziale.

Tiriamo inoltre le tangenti interne X C A′ e X′ C A, considerandole come generatrici di un altro cono col vertice in C, nell'interno del quale dietro la Terra solamente una parte dei raggi solari può penetrare. La parte troncata dal piano B B′ comprende la regione della **penombra**. Un osservatore, collocato in essa, vedrebbe solamente una parte del Sole, e vice-

(1) Facciamo qui ancora astrazione dalla rifrazione dei raggi solari nell'atmosfera terrestre. Inoltre, per rendere la figura più chiara, abbiamo deliberatamente trascurate le vere proporzioni della distanza e grandezza dei vari globi.

Digitized by Google

versa, un corpo opaco L, trovandosi nell'interno di questo cono della penombra, ma fuori del cono dell'ombra pura BVB', sarà illuminato da una parte soltanto della luce solare, tanto più piccola, quanto più il detto corpo trovasi vicino all'anzidetto cono dell'ombra pura; il corpo eclissato rifletterà quindi la luce solare più languidamente.

506. — Quando la Luna, nel suo giro mensile, al tempo del plenilunio, attraversa i coni della penombra e dell'ombra, entrando prima nella penombra, perde gradatamente un poco del suo splendore; arrivata all'ombra pura, questa, co' suoi contorni ben visibili, comincia a coprire una parte del disco luminoso (cfr. Fig. 171, pag. 271). Quanto più la Luna s'immerge nell'ombra, tanto più s'impiccolisce la falce illuminata. Se l'immersione diviene totale, avremo un'eclisse totale; se non, l'eclisse rimane parziale. La **visibilità** d'una eclisse lunare qualsiasi per gli abitanti della Terra dipende unicamente dalla condizione, che essi trovinsi sopra l'emisferio terrestre, voltato verso la Luna, ossia che la Luna sia visibile sopra l'orizzonte rispettivo.

507. — Se il piano dell'orbita lunare coincidesse con quello dell'eclittica, vi sarebbe un'eclisse della Luna (totale) ad ogni plenilunio ed un'eclisse solare (totale o anulare) ad ogni novilunio. L'inclinazione dell'orbita (di 5°) fa sì, che il centro della Luna al **tempo delle sizigie** trovisi ordinariamente lontano dall'eclittica e conseguentemente dal centro del cono ombroso, rispettivamente dal Sole stesso, cosicchè l'eclisse non può aver luogo. Perciò le eclissi, tanto lunari quanto solari, avvengono solamente vicino ai nodi dell'orbita lunare; perchè ivi soltanto la latitudine della Luna è abbastanza piccola, a permettere l'entrata della Luna, sia nel cono ombroso cagionato dalla Terra, sia sul disco apparente del Sole stesso. Siccome però questi nodi girano lungo tutta l'eclittica (num. 489), s'intende, che anche le eclissi possono per sè accadere in un punto qualunque dello Zodiaco; anzi dopo un giro completo dei medesimi nodi (in $18\frac{2}{3}$ anni), i fenomeni delle eclissi dovranno ripetersi successivamente quasi nello stesso modo di prima.

508. — Infatti gli antichi Caldei, assidui osservatori dei fenomeni celesti (n. 324), scoprirono presto il detto ciclo di

Digitized by Google

18 anni ed 11 giorni (più precisamente di giorni 6585,78 ossia di 6585 giorni e 7 ore),[1] da essi chiamato **Saros,** per mezzo del quale predissero le eclissi (specie della Luna) con una precisione sorprendente, che doveva far stupire tutti quelli che ignoravano il segreto. Dopo questo periodo che abbraccia 223 lunazioni sinodiche (241 mesi tropici, 242 mesi dragonitici, 239 rivoluzioni anomalistiche), le relative posizioni della Luna sono perfettamente identiche, dentro il limite di un minuto di arco. Riproduciamo nella pagina seguente una **tavola sinottica** con due periodi paralleli, osservati nel secolo scorso, dei quali il primo comincia col 9 marzo 1830, il secondo col 19 marzo 1848. La fase esprime la grandezza dell'eclisse in digiti (parti dodicesimali). Il tempo, espresso in ore (e decimi di un'ora) indica il mezzo dell'eclisse in tempo solare medio dell'Europa centrale, secondo il computo ordinario civile (n. 81). Confrontando le colonne parallele, si vede che la differenza di tempo (oltre le 7 ore del ciclo) è piccola assai, non arrivando mai a 2 ore; come pure quella delle fasi non arriva a due digiti ($\frac{2}{12}$ del diam. ☽).

509. — Il periodo di un saros contiene ordinariamente 29 eclissi lunari e 41 eclissi solari.[2] Le eclissi solari (non registrate nella nostra tavola) generalmente parlando si succedono colla stessa regolarità, come quelle della Luna; ma siccome una piccola modificazione delle circostanze varia la visibilità dell'eclisse solare nei varii punti della superficie terrestre, così la sola regola del saros non basta, come del resto già ben sapevano gli antichi Caldei, a predirla per un luogo determinato. Così, per esempio, all'eclisse totale del Sole del 17 settembre 1876, corrispondeva un'altra eclisse solare anche totale del 29 settembre 1894; ma mentre la totalità della prima era visibile soltanto nella parte australe dell'Oceano Pacifico ed in una parte della Nuova Olanda (Australia), la seconda era anche visibile nell'Africa e nelle regioni australi dell'Asia.

(1) Il periodo varie volte contiene 5 anni bisestili invece di 4; allora sarebbero richiesti soltanto 18 anni e 10 giorni al suo compimento.

(2) La maggiore frequenza di eclissi solari è dovuta alla maggiore ampiezza del cono AVA' (Fig. 259) fra la Terra ed il Sole.

Digitized by Google

I. PERIODO				DIFFERENZA		II. PERIODO			
Anno	Giorno	Ora	Fase	Ora	Fase	Anno	Giorno	Ora	Fase
1830	9 mar.	14,7	tot.	0,5	—	1848	19 mar.	22,2	tot.
»	2 sett.	23,6	tot.	0,8	—	»	13 sett.	7,4	tot.
1831	26 febb.	18,0	8,3	0,9	0,8	1849	9 mar.	1,9	9,1
»	23 agos.	11,0	5,9	0,2	1,3	»	2 sett.	18,2	7,2
1833	6 genn.	9,0	5,8	1,9	— 0,1	1851	17 genn.	17,9	5,7
»	2 lugl.	1,7	10,5	— 0,3	— 1,8	»	13 lugl.	8,4	8,7
»	26 dic.	22,5	tot.	1,7	—	1852	7 genn.	7,2	tot.
1834	21 giug.	9,3	tot.	0,1	—	»	1 lugl.	16,4	tot.
»	16 dic.	5,8	8,2	1,2	0,1	»	26 dic.	14,0	8,3
1835	10 giug.	23,6	1,1	0,4	1,6	1853	21 giug.	7,0	2,7
1836	1 mag.	8,2	4,5	1,6	— 1,3	1854	12 mag.	16,8	3,2
»	24 ott.	14,3	1,4	0,9	— 0,6	»	4 nov.	22,2	0,8
1837	20 apr.	21,7	tot.	0,4	—	1855	2 mag.	5,1	tot.
»	14 ott.	0,3	tot.	1,2	—	»	25 ott.	8,5	tot.
1838	10 apr.	3,0	7,5	0,1	1,2	1856	20 apr.	10,1	8,7
»	3 ott.	15,7	11,4	1,2	0,7	»	13 ott.	23,9	12,1
1840	17 febbr.	15,0	4,5	1,3	— 0,3	1858	27 febb.	23,3	4,2
»	13 agos.	8,3	7,4	0,0	— 1,6	»	24 agos.	15,3	5,8
1841	6 febbr.	3,1	tot.	1,6	—	1859	17 febbr.	11,7	tot.
»	2 agos.	11,0	tot.	— 0,5	—	»	13 agos.	17,5	tot.
1842	26 genn.	18,7	9,6	1,8	0,1	1860	7 febb.	3,5	9,7
»	22 lugl.	11,8	3,6	— 0,3	1,4	»	1 agos.	18,5	5,0
1843	7 dic.	1,2	2,5	1,0	— 0,3	1861	17 dic.	9,2	2,2
1844	31 mag.	23,8	tot.	0,5	—	1862	12 giug.	7,3	tot.
»	25 nov.	0,8	tot.	0,9	—	»	6 dic.	8,7	tot.
1845	21 nov.	16,9	tot.	0,5	—	1863	2 giug.	0,4	tot.
»	14 nov.	1,8	11,2	1,2	+ 0,4	»	25 nov.	10,0	11,6
1847	31 mar.	22,4	3,5	0,2	— 1,0	1865	11 apr.	5,6	2,5
»	24 sett.	15,5	5,2	1,2	— 1,0	»	4 ott.	23,7	4,2

Digitized by Google

Così si spiega, che non ostante la grande frequenza delle eclissi solari nel periodo di un saros, soltanto nove di esse in media sono visibili nello stesso luogo della Terra, il ritorno poi di un'eclisse totale del Sole, per lo stesso luogo terrestre, richiede generalmente un intervallo di circa 200 anni.

510. — A cagione della relativa piccolezza della Luna e della sua maggiore vicinanza al Sole (al tempo del novilunio), il cono ombroso LV (Fig. 260) è talvolta così piccolo, che col suo vertice V appena arriva alla superficie della Terra T. Siccome poi la distanza della Luna dalla Terra è variabile, l'ombra lunare ora non arriva affatto a questa, ora invece copre una regione relativamente ristretta della medesima; di più, per la rotazione e traslazione della Terra, e per la traslazione della Luna intorno alla Terra, la detta ombra passa rapi-

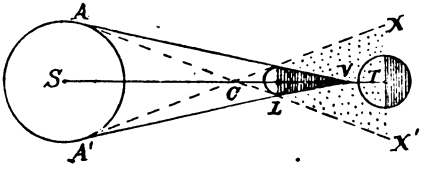


Fig. 260.

damente da un luogo all'altro, cosicchè per un punto terrestre il passaggio attraverso di essa (il tempo della totalità d'una eclisse del Sole) non dura mai più di 8 minuti, mentre quello della totalità d'una eclisse lunare può durare circa 2 ore. Più grande del cono dell'ombra è quello della penombra XCX'. Tutti i punti della Terra, che passano per esso, godono lo spettacolo d'una eclisse parziale del Sole, la grandezza della quale suole esprimersi, come quella d'una eclisse lunare, in parti decimali o anche dodicesimali del diametro lunare. (1)

Riservando all'Astrofisica i varii fenomeni interessanti, che accompagnano le eclissi, e che hanno dato non pochi lumi sulla costituzione fisica dei due corpi Sole e Luna, trattiamo negli articoli seguenti brevemente tutto quello, che spetta alla determinazione dell'andamento esterno delle eclissi.

(1) Invece di $\frac{1}{12}$ si suole anche dire un *pollice* o *digito*.

Digitized by Google

ART. II. — DETERMINAZIONE DELLE ECLISSI LUNARI.

511. — Le cose principali che si ricercano relativamente alle eclissi della Luna sono prima di tutto i varii momenti di tempo dell'ingresso della Luna, nella penombra e poi nell'ombra; parimente l'egresso dall'ombra e dalla penombra (cfr. Fig. 259). Inoltre si cerca di determinare il punto del lembo lunare, il quale venga prima in contatto coll'ombra, come pure quello, il quale esce l'ultimo dalla medesima. Il momento della massima oscurazione sarà il tempo di mezzo tra l'ingresso e l'egresso, rispettivamente all'ombra ed alla penombra. Di questa massima oscurazione finalmente si determina la grandezza nel modo testè indicato.

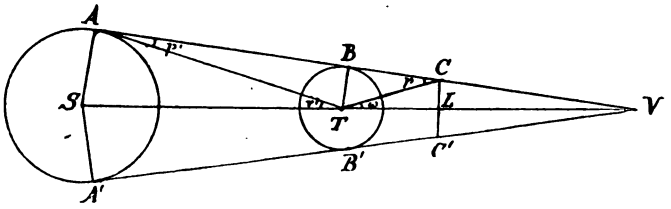


Fig. 261.

512. — Innanzi tutto, per non fare dei calcoli inutili, troviamo un criterio per la **possibilità d'una eclisse** della Luna; poichè per la ragione già accennata (n. 504) non tutti i pleniluni portano una eclisse. Se l'orbita lunare fosse nello stesso piano dell'eclittica, la Luna verrebbe non solamente eclissata, ma totalmente eclissata, ad ogni opposizione. Ora invece, a cagione dell'inclinazione (di 5° circa) dell'orbita lunare, l'eclisse può soltanto accadere, quando la latitudine della Luna (piena) è abbastanza piccola; in altre parole: quando il plenilunio accade abbastanza vicino ai nodi (☊ o ☋) dell'orbita.

Difatti, mentre la Terra gira intorno al Sole, questa conduce seco, dalla parte opposta al Sole, il cono di ombra (n. 505). La **sezione del cono ombroso**, fatta perpendicolarmente al raggio vettore della Terra, alla distanza della Luna,

Digitized by Google

ha la forma di un circolo, il raggio del quale dovrà prima di tutto essere determinato.

513. — Pertanto i cerchietti (Fig. 261) intorno ai centri S e T rappresentino i globi del Sole e della Terra; le tangenti A B e A′ B′, incontrandosi col loro prolungamento in V, determinano il cono ombroso B V B′. Alla distanza (T L) della Luna dalla Terra sia C C′ $\perp$ T V; allora C L rappresenterà il raggio della sezione dell'ombra.

$\measuredangle$ A T S $= r'$ misura il raggio apparente del Sole,
$\measuredangle$ T A B $= p'$ » la parallasse orizzontale del Sole,
$\measuredangle$ T C B $= p$ » » » della Luna;

quindi $\measuredangle$ C T L $= \omega$ misura il raggio della sezione dell'ombra:

$$\omega = 180° - r' - \measuredangle A T C = 180° - r' - (180° - p - p')$$

quindi

$$\omega = p' + p - r' \qquad (1)$$

cioè il raggio della sezione del cono ombroso della Terra (alla distanza della Luna) è uguale alla somma delle parallasi del Sole e della Luna, diminuita del raggio solare.(1)

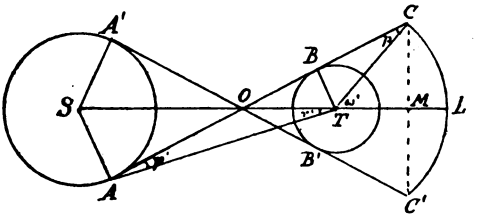


Fig. 262.

514. — In simile modo si determina il raggio della **sezione della penombra** (Fig. 262), tirando cioè le tangenti A B C

(1) Il confronto tra osservazione e teoria mostra però, che un valore più giusto di ω si ottiene, aumentandolo di $\frac{1}{50}$; cosicchè

$$\omega = \frac{51}{50}(p' + p - r)$$

l'aumento sembra dovuto agli strati più densi dell'atmosfera terrestre.

Digitized by Google

ed A'B'C', che s'intersecano in O (del resto ritenendo la stessa nomenclatura del caso precedente), l'angolo CTL, $= \omega'$ misuri il raggio cercato; sarà

$$\omega' = p + \measuredangle COT = p + p' + r'$$

dunque

$$\omega' = p' + p + r' \qquad (2)$$

cioè il raggio della sezione della penombra è uguale alla somma delle parallassi del Sole e della Luna, aumentata del raggio solare.

515. — Determinata per mezzo delle formole precedenti (1) e (2) la misura angolare dei raggi rispettivi dell'ombra e della

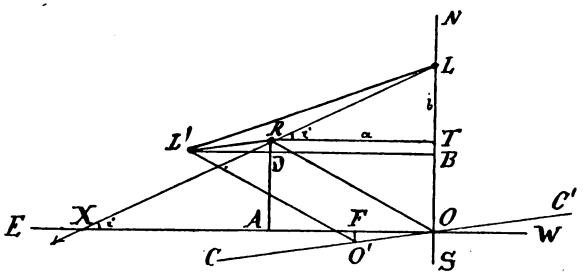


Fig. 263.

penombra, potremo ora studiare il **moto relativo del disco lunare** attraverso le medesime ombre. Sia pertanto O il centro dell'ombra (Fig. 263), L quello della Luna. L'ascensione retta di L sia uguale a quella di O, e questa uguale a quella del Sole (opposto) aumentato di 180°; cioè L ed O, trovandosi sopra lo stesso circolo di declinazione NS (Nord-Sud), stanno in opposizione col Sole. La linea EW (Est-West) rappresenti il parallelo rispettivo che passa per O; la linea CC' l'eclittica, LL' l'orbita apparente della Luna. Il moto orario dell'ombra, ossia del centro O, sia rappresentato da OO'; quello della Luna da LL', cioè un'ora dopo l'opposizione il centro O dell'ombra si trovi in O', quello L della Luna in L'. Costruendo il parallelogrammo OO'L'R, la posizione di R, relativamente ad O, sarà la stessa, come quella di L' relativamente ad O'; potremo quindi considerare O come fisso, L invece come mosso, non da L in L', ma da L in R. Ti-

Digitized by Google

rando una retta per L ed R, questa rappresenta **l'orbita relativa della Luna,** la lunghezza LR il moto orario relativo della Luna.

La direzione e lunghezza di LR $= c$ vengono determinate mediante il triangolo rettangolo LTR, nel quale il cateto RT $= a$ rappresenta la *differenza in Ascensione retta* $(m - m')$ del moto orario della Luna e del centro O; l'altro cateto LT $= b$ rappresenta la *differenza in Declinazione* $(d - d')$ dei rispettivi moti orarii; cosicchè $a = m - m'$; $b = d - d'$. Infatti dalla figura risulta:

$$RT = L'B - L'D = L'B - OF = m - m' = a$$
$$LT = LB - RD = LB - O'F = d - d' = b$$

$\measuredangle$ LRT $= i$ è l'angolo, che fa l'orbita relativa LR col parallelo EW; sarà quindi

$$c^2 = a^2 + b^2 \quad ; \quad \text{tang } i = b : a \qquad (1)$$

516. — Ora con questi dati, è facile il rendersi conto di tutto l'andamento di un'eclisse con **metodo grafico** e meramente costruttivo; e siccome questo metodo ordinariamente soddisfa a tutte le esigenze del caso, e di più illustra bene tutto il fenomeno, ne diamo qui un esempio, tolto dall'eclisse totale della Luna del 27 dicembre 1898.

Dal *Nautical Almanac* prendiamo i dati seguenti per il momento dell'opposizione, che in tempo solare medio astronomico di Greenwich (num. 80) avvenne il 27 dicembre alle $11^h\ 37^m\ 53^s,2$.

☾	Ascensione retta	$\alpha =$	$6^h\ 27^m\ 29^s,50$
	Declinazione	$\delta =$	$23^\circ\ 30'\ 53'',0$
	Moto orario in A. R.	$m =$	$32'\ 9',5$
	Moto orario in Decl. (verso Sud)	$d =$	$4'\ 9'',4$
	Parallasse orizzontale equatoriale	$p =$	$54'\ 6'',45$
	Raggio (apparente)	$r =$	$14'\ 44'',77$
♂	Declinazione	$\delta' =$	$-\ 23^\circ\ 18'\ 7'',4$
	Moto orario in A. R.	$m' =$	$2'\ 46'',2$
	Moto orario in Decl. (verso Nord)	$d' =$	$7'',3$
	Parallasse orizzontale equatoriale	$p' =$	$9'',0$
	Raggio apparente	$r' =$	$16'\ 15'',94$

Digitized by Google

517. — Sostituendo i valori rispettivi nelle formole (1) e (2) dei num. 513 e 514, avremo:

raggio dell'ombra pura $\omega = p' + p - r' = 37'59'',51$;
raggio della penombra $\omega' = p' + p + r' = 70'31'',39$.

Prendendo un' unità di misura arbitraria, (1) la quale rappresenti un minuto di arco (1'), si costruiscono (Fig. 264) due circoli intorno al centro O coi raggi rispettivi OS = 38, OK = 70,5. Il circolo minore rappresenterà la sezione dell' ombra pura, il maggiore quella della penombra. La

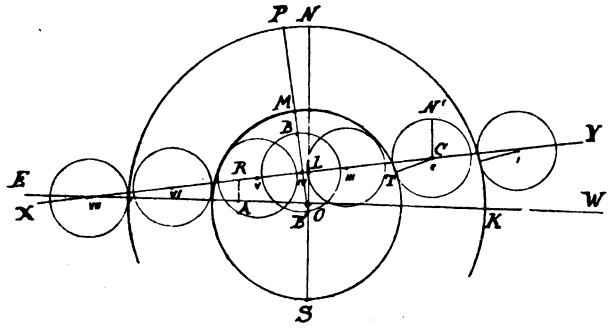


Fig. 264.

linea orizzontale E W (Est-West) indichi il parallelo della sfera celeste, sul quale trovasi O al tempo dell'opposizione, cioè il parallelo corrispondente alla declinazione (verso Nord) di 23° 18',1; allora N O S ⊥ E W rappresenterà il circolo di declinazione (Nord-Sud) passante per O. Essendo maggiore la declinazione della Luna, il centro L di questa si troverà tra O ed N, e dovrà essere

$$OL = \delta - \delta' = 23^\circ\,30',9 - 23^\circ\,18',1 = 12',8\,.$$

(1) Quanto più grande è questa unità (1' = 1 millimetro, 1 cm ecc.) tanto più esattamente si potranno leggere le suddivisioni. Del resto, dovendo contentarci di ottenere il minuto con precisione, basta esprimere i secondi in parti decimali di questo.

Inoltre si noti, che attese le circostanze di spazio e tempo, nelle quali si svolge tutto il fenomeno, possiamo considerare i moti della Luna e dell'ombra come uniformi e come sviluppati in un piano (tangente al punto O).

Digitized by Google

Il moto orario del Sole in declinazione è $d' = 7'',3$ verso Nord, quindi il moto orario di O (opposto) sarà altrettanto verso Sud. Siccome anche il moto orario della Luna [1] $d = 4'\ 9'',4$, è diretto verso Sud, la differenza di declinazione del centro lunare e del centro dell'ombra dopo un'ora sarà

$$d - d' = 4'\ 9'',4 - 7'',3 = 4'\ 2'',1 = b,$$

cioè tanto la Luna si accosta al parallelo di O.

Il moto orario del Sole in ascensione retta $m' = 2'\ 46'',2$, e (conseguentemente anche quello di O) meno il moto orario della Luna $m = 32'\ 9'',5$ produce uno spostamento relativo di O e della Luna

$$m - m' = 32'\ 9'',5 - 2'\ 46'',2 = 29'\ 23'',3 = 29',4.$$

Questo spostamento però $29',4$ effettuandosi sopra il parallelo di $23°,5$ di declinazione, per averlo espresso in minuti equatoriali, dovrà essere moltiplicato col coseno di $23°,5$; donde risulta per lo spostamento relativo $a = 27',0$.

518. — Ciò posto, **la costruzione** procede in questo modo: si prende sopra OE la lunghezza $OA = 27$, si alza in A una perpendicolare $AR = OL - b = 12,8 - 4,0 = 8,8$; condotta poi per L e R la retta indefinita XY, questa rappresenterà l'orbita relativa della Luna. Costruendo finalmente col raggio lunare r i sette cerchietti, coi loro centri sopra XY, e tangenti: I e VII alla penombra, II e VI all'ombra, con contatto esterno; III e V con contatti interni, avremo la posizione delle fasi rispettive. Il cerchio di mezzo (IV) rappresenta il mezzo dell'eclisse (l'oscurazione massima). — Per avere i tempi corrispondenti basta dividere la RL (spostamento orario) in 60 parti uguali; segnando poi simili divisioni sopra tutta la retta XY, da I fino a VII, potremo leggere i tempi rispettivi, cominciando dal tempo noto dell'opposizione in L.

(1) Questi moti possono, per il tempo relativamente breve, considerarsi come uniformi; anzi siccome l'osservazione pratica dei vari fenomeni non permette grande precisione, anche nella determinazione teorica dei medesimi potremo facilmente contentarci di una buona approssimazione al vero.

Digitized by Google

Così con un disegno fatto (con scala però maggiore) si trova [1] pel 27 dicembre in tempo medio (astronomico) di Greenwich:

I.	Primo contatto colla penombra	$8^h\ 35^m$
II.	Primo contatto coll'ombra	9 48
III.	Principio della fase totale	10 57
IV.	Mezzo dell'eclisse	11 42
V.	Fine della totalità	12 27
VI.	Egresso dall'ombra	13 36
VII.	Egresso dalla penombra	14 49

Per trasformare i varii risultati in tempo medio civile dell'Europa centrale (num. 82), basta aggiungere un'ora, e cambiare la data dopo le dodici (di mezzanotte); si ha così

	Dicembre 27 p.m.			Dicembre 28 a.m.			
	I	II	III	IV	V	VI	VII
	$9^h\ 35^m$	$10^h\ 48^m$	$11^h\ 57^m$	$0^h\ 42^m$	$1^h\ 27^m$	$2^h\ 36^m$	$3^h\ 49^m$
ossia	$21^h\ 35^m$	$22^h\ 48^m$	$23^h\ 57^m$	Contando le ore da 0 a 24.			

519. — Anche i punti dei singoli contatti sono dati da disegno: per esempio cerchiamo quello del primo contatto coll'ombra (pura). Basta tirare nel cerchietto II i due raggi $CN' \parallel ON$, e CT al punto di contatto; essendo N' il punto più settentrionale del lembo lunare, l'angolo N'CT misura la distanza del punto T da N'; similmente si trovano gli altri punti. Nel caso nostro pei due punti di maggiore importanza avremo

primo contatto coll'ombra a 112° dal Nord verso Est
ultimo » » a 95° » » » West.

La fase massima vien data dal cerchietto (IV) di mezzo, ossia dal rapporto di B'M al diametro ($BB' = 2r$); cioè

(1) La rifrazione e parallasse modificano un poco il risultato, quando la Luna trovasi vicino all'orizzonte del luogo di osservazione.

Digitized by Google

$B'M : BB' = 1{,}3 : 1$. Dunque grandezza dell'eclisse $= 1{,}3$; cioè l'immersione della Luna in mezzo all'ombra è tale, che il punto più vicino all'orlo dista ancora 0,3 del diametro lunare dal medesimo.

520. — Quello che resta ancora, si è di sapere, se l'eclisse sia visibile in un dato luogo, per es. in Roma. Nel caso presente non vi può essere dubbio, che la Luna in tutti i tempi indicati trovisi sopra l'orizzonte di Roma. Per sciogliere il problema in un modo speditivo relativamente ad un luogo qualunque della Terra, si sogliono determinare latitudine e longitudine geografica dei luoghi che hanno la Luna allo zenit al tempo delle varie fasi. Nel caso nostro, contando le longitudini da Greenwich E (verso Est) e W (verso West), si trova

Fase ...	I	II	III	IV	V	VI	VII
Lat. . +	23°52′	23°47′	23°42′	23°39′	23°36′	23°31′	23°26′
Long. . .	50°10′ E	32°33′ E	15°43′ E	4°55′ E	5°53′W	22°43′W	40°21′W

Collocando lo zenit di un globo terrestre successivamente in questa posizione, si vede subito quali luoghi si trovino sopra l'orizzonte (razionale), nei quali conseguentemente la Luna sarà visibile.

521. — Al **metodo del calcolo** sono più adattate le coordinate eclitticali. Per variare allo stesso tempo l'aspetto del problema, consideriamo (Fig. 265) un'eclisse vicino al nodo ascendente (☊) N, dell'orbita lunare NL. La retta KK′ rappresenti l'eclittica. Al momento dell'opposizione (ora in longitudine) il centro lunare si trovi in L, quello della sezione dell'ombra in O. La distanza $LO = \lambda$ sarà la latitudine della Luna. Un'ora dopo l'opposizione, la Luna sia passata in L′, il centro dell'ombra da O in O′. Conducendo (come n. 515) per L′ una retta L′R, uguale e parallela ad O′O, e congiungendo R con L, la retta $RL = c$ indicherà la direzione dell'orbita relativa della Luna (rispetto ad O, considerato come fisso), ed insieme il moto orario della medesima in quest'orbita.

Per determinare il valore di c, e la sua posizione relativamente all'eclittica, basta fare $RA \perp KK'$, $LB \perp RA$; al-

Digitized by Google

lora LB = a rappresenta la differenza del moto orario (m) della Luna e del moto orario (m') dell'ombra [in longitudine]; cioè

$$a = m - m' .$$

b = RB rappresenta semplicemente lo spostamento orario della Luna in latitudine.

Chiamando i l'angolo RLB = RN'A, avremo immediatamente le seguenti formole:

$$\text{tang } i = b : a \qquad (1)$$

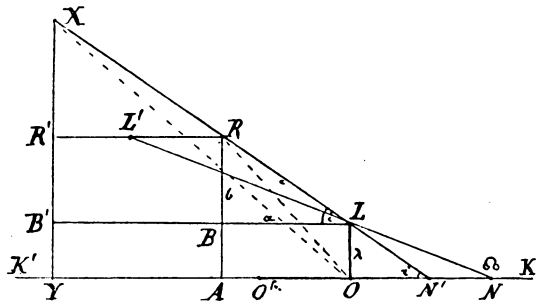


Fig. 265.

$$c^2 = a^2 + b^2 = (m - m')^2 + b^2 . \qquad (2)$$

522. — La posizione di R, relativamente ad O, è determinata dall'angolo ROA, essendo

$$\text{tang ROA} = (b + \lambda) : a \qquad (3)$$

e dalla distanza RO = d, essendo

$$d^2 = a^2 + (b + \lambda)^2 . \qquad (4)$$

La posizione di un altro punto qualunque X, dell'orbita relativa, dove la Luna trovasi al tempo t (espresso in ore e frazioni di ora), viene determinato per mezzo del triangolo rettangolo XYO, nel quale il cateto OY = ta, il cateto XY = XB' + B'Y = $tb + \lambda$; quindi

$$\text{tang XOY} = (tb + \lambda) : ta \qquad (5)$$

$$x^2 = \overline{OX}^2 = t^2 a^2 + (tb + \lambda)^2 = t^2 (m - m')^2 + (tb + \lambda)^2 \qquad (6)$$

Digitized by Google

L'equazione (6) fornisce la distanza relativa del centro lunare dal centro dell'ombra, per un tempo qualunque t; siccome però si cerca ordinariamente il tempo, corrispondente ad una data distanza ω, ω' (cfr. n. 513), mettiamo in evidenza il termine t dell'equazione (6)

$$x^2 = t^2 a^2 + t^2 b^2 + 2tb\lambda + \lambda^2$$
$$= t^2(a^2 + b^2) + 2tb\lambda + \lambda^2; \quad \text{cfr. (1)}$$

$$t^2 c^2 + 2tb\lambda = x^2 - \lambda^2$$

$$t^2 + \frac{2}{c^2} tb\lambda = \frac{x^2 - \lambda^2}{c^2}$$

dalla quale risulta

$$t = \pm \frac{1}{c^2} \cdot \sqrt{c^2(x^2 - \lambda^2) + b^2\lambda^2} - \frac{b\lambda}{c^2} \qquad (7)$$

ovvero sostituendo i valori primitivi, cioè

$$c^2 = a^2 + b^2 = (m' - m)^2 + b^2$$

sarà

$$t = \pm \frac{\sqrt{[(m' - m)^2 + b^2] \cdot (x^2 - \lambda^2) + b^2\lambda^2} - b\lambda}{(m' - m)^2 + b^2}. \qquad (8)$$

523. — Per semplificare vieppiù queste formole finali (7) e (8), si introduce l'angolo R N' A $= i$; cioè, essendo sen $i = \frac{b}{c}$; e quindi

$$c^2 = \frac{b^2}{\operatorname{sen}^2 i} \; ; \; \frac{1}{c^2} = \frac{\operatorname{sen}^2 i}{b^2}.$$

Sostituendo questi valori nell'equazione (7) avremo

$$t = \pm \frac{\operatorname{sen}^2 i}{b^2} \cdot \sqrt{\frac{b^2}{\operatorname{sen}^2 i}(x^2 - \lambda^2) + b^2\lambda^2} - \frac{\lambda \operatorname{sen}^2 i}{b}$$

dalla quale risulta

$$t = \frac{1}{b}\left[\pm \operatorname{sen} i \sqrt{x^2 - \lambda^2 \cos^2 i} - \frac{\lambda \operatorname{sen}^2 i}{b}\right] \qquad (9)$$

nella qual formola t significa l'intervallo di tempo, che ha per principio il momento (T) dell'opposizione, b il moto orario in

Digitized by Google

latitudine della Luna (tanto apparente quanto relativa), i l'angolo d'inclinazione dell'orbita relativa verso l'eclittica, x la distanza di un punto qualunque dell'orbita (relativa) dal centro dell'ombra, λ la latitudine della Luna al tempo dell'opposizione. Il segno positivo indica il tempo dopo l'opposizione, il segno negativo il tempo prima dell'opposizione.

524. Dunque per avere i tempi corrispondenti ai quattro contatti esterni (I e IV) ed interni (II e III) della Luna coll'ombra (Fig. 266), basta sostituire ad x nell'equazione (9) i valori rispettivi OA, OB, OC, OD, chiamando

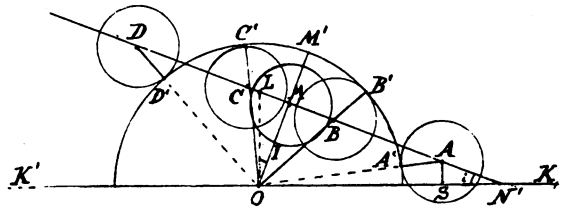


Fig. 266.

(come di sopra) ω il raggio della sezione dell'ombra [1], r il raggio della Luna, sarà

$$OA = \omega + r = OD \; ; \quad OB = \omega - r = OC.$$

Notando con t_1, t_2, t_3, t_4, i rispettivi tempi dei contatti in A', B', C', D', avremo le quattro formole:

$$\left.\begin{aligned} t_1 &= T - \frac{\operatorname{sen} i}{b}\sqrt{(\omega + r)^2 - \lambda^2 \cos^2 i} - \frac{\lambda \operatorname{sen}^2 i}{b} \\ t_2 &= T - \frac{\operatorname{sen} i}{b}\sqrt{(\omega - r)^2 - \lambda^2 \cos^2 i} - \frac{\lambda \operatorname{sen}^2 i}{b} \\ t_3 &= T + \frac{\operatorname{sen} i}{b}\sqrt{(\omega - r)^2 - \lambda^2 \cos^2 i} - \frac{\lambda \operatorname{sen}^2 i}{b} \\ t_4 &= T + \frac{\operatorname{sen} i}{b}\sqrt{(\omega + r)^2 - \lambda^2 \cos^2 i} - \frac{\lambda \operatorname{sen}^2 i}{b} \end{aligned}\right\} \quad (10)$$

(1) Le formole relative alla penombra sono del tutto analoghe; basta sostituire ad ω il valore rispettivo di ω' (num. 513).

Digitized by Google

Il tempo t_m della massima oscurazione, quando la Luna trovasi alla distanza OM, essendo $OM \perp AD$,

$$AM = MD \quad \text{e} \quad BM = MC,$$

viene dato dalla formola

$$t_m = \frac{1}{2}(t_1 + t_4) = \frac{1}{2}(t_2 + t_3);$$

donde risulta $$t_m = T - \frac{\lambda \operatorname{sen}^2 i}{b}. \qquad (11)$$

525. — La durata dell'eclisse, ossia l'intervallo di tempo tra l'ingresso della Luna nell'ombra (in A') e l'egresso della medesima (in D') è dato dalla differenza $t_4 - t_1$; la durata della fase totale[1] dalla differenza $t_3 - t_2$.

Il grado (g) dell'oscurazione massima è determinato in questo modo:

$IM' = MM' + MI = OM' - OM + MI = \omega - \lambda \cos i + r$, ossia

$$g = \omega + r - \lambda \cos i. \qquad (12)$$

Per averlo in parti del diametro lunare, si divide il risultato per $2r$; ovvero se si voglia averlo, secondo l'uso antico, in parti dodicesime del medesimo diametro, cioè in «*digiti*» o «*pollici*», basta moltiplicare il risultato per $\frac{12}{2r} = \frac{6}{r}$.

La posizione angolare dei varii punti di contatto (A' B' C' D') può dedursi mediante l'angolo i. Abbassando per esempio da A la perpendicolare AS sull'eclittica, l'angolo cercato $\measuredangle OAS = \alpha$ si calcola mediante la formola:

$$\cos \alpha = \frac{AS}{OA} = \frac{AN' \operatorname{sen} i}{\omega + r}. \qquad (13)$$

Similmente si determinano gli altri contatti (cfr. n. 519).[2]

(1) La Luna può rimanere circa $4\frac{2}{3}$ ore eclissata; allora la fase totale dura $2\frac{1}{3}$ ore, ossia circa la metà del detto tempo.

(2) Avendo concesso già quasi troppo spazio alla precedente teoria, ci asteniamo dal dare un esempio numerico, quantunque utilissimo. Chi lo desiderasse, lo troverà facilmente nei trattati più ampii, specialmente di astronomia pratica, pubblicati in varie lingue.

Digitized by Google

Se l'eclisse sarà totale o parziale, dipende dalla distanza minima OM del centro della Luna dal centro dell'ombra. Se questa diventa nulla, l'eclisse sarà non solamente totale, ma anche centrale, cioè avrà il suo massimo grado possibile di oscurazione, coincidendo i due centri, dell'ombra cioè e del disco lunare. Se $OM = \omega - r$, la totalità durerà soltanto un momento; se $OM > (\omega - r)$, l'eclisse rimane parziale; se finalmente $OM = \omega + r$, vi sarà un semplice contatto della Luna coll'ombra.

Art. III. — Eclissi solari.

526. — Il problema delle eclissi solari, generalmente parlando, si rassomiglia assai a quello delle eclissi lunari, almeno finchè non si tratta di altro, che di conoscere le varie **fasi generali** del fenomeno, riferite al centro della Terra. Alla sezione del cono ombroso, fatta alla distanza lunare, dovremo

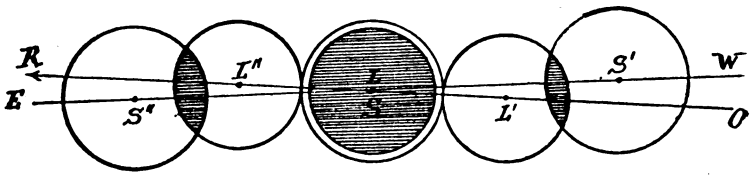


Fig. 267.

sostituire il disco apparente del Sole, il quale viene coperto, o in parte, o totalmente, da quello della Luna. Potremo qui, come di sopra (n. 515 e 521), invece del movimento assoluto del Sole e della Luna, considerare il loro moto relativo, costruendo un'orbita relativa lunare OR (Fig. 267), la quale attraversa l'eclittica WE (West-Est) in L (nodo apparente). Se al tempo dell'opposizione il Sole si trovasse proprio nel nodo (☊ o ☋), l'eclisse sarebbe centrale come vedesi in L, S. Dipenderà poi dalla grandezza relativa dei raggi apparenti ρ(☉) e ρ'(☽), se l'eclisse sarà totale ovvero anulare. Se $\rho' < \rho$, come vedesi nella figura, l'eclisse sarà anulare, se $\rho' = \rho$ ovvero $\rho' > \rho$, l'eclisse sarà totale (n. 510). Se il Sole, nella sua posizione relativa, trovasi ad una certa distanza da L, per esempio in S', ovvero in S'', la Luna attraversando l'eclittica da O verso R, coprirà soltanto una parte

Digitized by Google

del rispettivo disco solare; l'eclisse rimane parziale, come vedesi presso L′ ed L″, dove sono rappresentate due di queste fasi. Le posizioni della Luna in L′ e L″ indicano allo stesso tempo il primo ed ultimo contatto rispetto al Sole in S, essendo allora $SL' = SL'' = \rho + \rho'$.

527. — Le suddette fasi si succedono un poco diversamente, se come luogo di osservazione (invece del centro della Terra) consideriamo i varii punti della superficie terrestre. Rispetto a questi, di nuovo il problema può presentarsi sotto un doppio aspetto, cioè: 1° si possono **per la Terra in generale** cercare i momenti, quando accadono le varie fasi, e determinare il modo come appariscono; 2° si possono fare simili ricerche per un luogo determinato della superficie terrestre. Cominciamo colla prima considerazione.

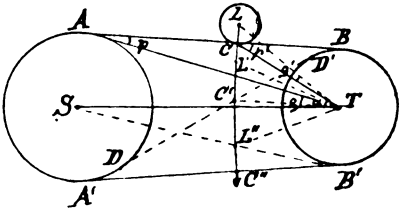


Fig. 268.

Pertanto (Fig. 268) i circoli coi centri S, T, L rappresentino i centri rispettivi del Sole (☉), della Terra (♁) e della Luna (☽).[1] Le tangenti comuni (a ☉ e ♁) AB ed A′B′, rotando intorno all'asse ST formano il tronco del cono, nel quale la Luna deve entrare, perchè abbia luogo l'eclisse. Movendosi la Luna da Ovest verso Est, e venendo a toccare il detto cono in C, i due lembi (☽ e ☉), veduti dal punto B della Terra, sembrano venire in contatto; cioè il globo lunare comincia a frapporsi tra B ed il Sole; l'eclisse comincia per quel punto della superficie terrestre.

Per valutare l'angolo $STC = \alpha$, sotto il quale si vedrebbe (geocentricamente) il detto punto di contatto C, congiungiamo A con T, e chiamiamo

π la parallasse solare; $\pi = \sphericalangle TAB$
π' » lunare; $\pi' = \sphericalangle TCB$
ρ la misura angolare del raggio del Sole; $\rho = STA$
ρ' » » » della Luna; $\rho' = CTL$

(1) Per maggior chiarezza della figura, le vere proporzioni tra la distanza ed il raggio dei vari corpi celesti sono trascurate.

Digitized by Google

avremo

$$\measuredangle STC = \measuredangle STA + \measuredangle ATC = \measuredangle STA + \measuredangle TCB - \measuredangle TAC;$$

ossia $$\alpha = \rho + p' - p. \qquad (1)$$

528. — Per sapere, sotto quale angolo (α') apparisca la distanza angolare di S e L al momento del 1° contatto, basta aggiungere il raggio lunare ρ' all'angolo α, ed avremo: $\measuredangle STL = \alpha'$;

$$\alpha' = \alpha + \rho' = \rho' + \rho + p' - p. \qquad (2)$$

Dopochè la Luna è totalmente entrata nel cono ABB'A', toccando lo stesso punto C col lembo occidentale, per il punto B, quando $\rho' < \rho$, comincerà l'eclisse anulare. Supponendo il centro lunare allora in L', avremo: $\measuredangle STL' = \alpha''$

$$\alpha'' = \alpha - \rho' = \rho - \rho' + p' - p. \qquad (3)$$

Questi valori (1), (2), (3) valgono ugualmente dall'altra parte di ST per la fine dell'eclisse, ossia per gli ultimi contatti (interni ed esterni) in C'', relativamente al punto B' della Terra; come servono per indicare (per la Terra in genere) la fine dell'eclisse anulare e la fine dell'eclisse parziale.

529. — La linea DD' sia la tangcnte interna tra ☉ e ♁; allora supponendo $\rho' > \rho$, è chiaro che l'eclisse comincerà a divenire totale (per il punto D'), tostochè la Luna col suo lembo orientale tocca il punto C'; ora relativamente a questo punto abbiamo[1]

$\measuredangle STC' = \measuredangle DTC' - \measuredangle DTS = \measuredangle TC'B - \measuredangle TDB - \measuredangle DTS$

ossia $\measuredangle STC' = p' - p - \rho$; aggiungendo il raggio lunare ρ', avremo per la distanza angolare del centro lunare da S, pel principio della fase totale $STC' + \rho' = \alpha'''$

$$\alpha''' = p' - p + \rho' - \rho \qquad (4)$$

Finalmente SL''B' sia tangente alla ♁; se il centro della Luna arriva in L'', l'eclisse cessa di essere centrale. Rispetto

(1) Le linee che racchiudono questi angoli, non si trovano nella figura, ma si suppliscono facilmente.

Digitized by Google

all'angolo $L''TS = \alpha^{IV}$ caviamo immediatamente dalla figura $\measuredangle L''TS = B'L''T - L''ST$, ossia

$$\alpha^{IV} = p' - p \tag{5}$$

Riassumendo abbiamo dunque generalmente sulla Terra, se chiamiamo d la variabile distanza dai due centri ◍ e ☽

Principio e fine dell'eclisse

$$\left.\begin{array}{ll} \text{generale quando} & d = \rho' + \rho + p' - p \\ \text{anulare} \quad » & d = \rho - \rho' + p' - p \\ \text{totale} \quad » & d = \rho' - \rho + p' - p \\ \text{centrale} \quad » & d = p' - p\,. \end{array}\right\} \tag{6}$$

530. — Con questi dati sarebbe ora facile determinare (cfr. n. 521 sgg.) le varie fasi di un'eclisse solare, conoscendo l'esatta posizione dei due astri al momento della loro congiunzione, conoscendo di più l'orbita relativa lunare e lo spostamento orario del Sole e della Luna. Perciò

λ rappresenti la latitudine (boreale) della Luna (☽ ♂ ◍)
m il moto orario ◍ in longitudine
m' il moto orario ☽ in longitudine
b il moto orario ☽ in latitudine (verso Nord).

Per il moto orario (c) della Luna nella sua orbita relativa avremo:

$$c^2 = (m' - m)^2 + b^2 \ldots \quad [\text{cfr. (2) num. 521}];$$

per la distanza (d) dei due centri (◍ e ☽) un'ora dopo la congiunzione sarà ugualmente

$$d^2 = (m' - m)^2 + (b + \lambda)^2 \ldots \quad [\text{Ivi (4)}].$$

Ad un tempo qualunque (t) la distanza rispettiva (x) dei medesimi centri sarà espressa dall'equazione

$$x^2 = t^2 (m' - m)^2 + (t\,b + \lambda)^2 \ldots \quad [\text{Ivi (6)}];$$

ovvero rispetto a t, chiamando i l'inclinazione dell'orbita apparente,

$$t = \frac{1}{b}\left[\pm \operatorname{sen} i \sqrt{x^2 - \lambda^2 \cos^2 i} - \frac{\lambda \operatorname{sen}^2 i}{b}\right] \ldots \quad [\text{n. 523 (9)}].$$

Digitized by Google

Sostituendo nell'ultima equazione invece di x i varii valori secondo le formole (6), si trovano senz'altro il principio e la fine delle varie fasi generali e particolari, cioè dell'eclisse in genere, della totalità, della forma anulare, come pure il momento dell'eclisse centrale.

I valori positivi denotano i tempi dopo l'opposizione, (ossia dopo il tempo T); quei negativi i tempi prima della medesima. — Se t diventasse immaginario, questo significherebbe, che la fase corrispondente non ha luogo.

Similmente per il tempo t_m della fase media (**massima oscurazione**) sarà

$$t_m = T - \frac{\lambda \operatorname{sen}^2 i}{b}$$

Il numero dei digiti (dodicesimi del diametro ☉) coperti, ossia **la grandezza** (g) della fase massima sarà data dalla formola:

$$g = 6\,(\rho' + \rho + p' - p - \lambda \cos i) : \rho\,.$$

531. — Volendo conoscere quale debba essere la latitudine del centro lunare al tempo dell'opposizione, affinchè abbia luogo **un semplice contatto** dei due dischi, serve la seguente considerazione (Fig. 269):

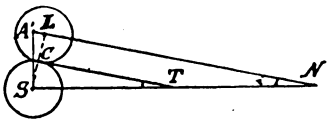


Fig. 269.

L'orbita relativa NL della Luna faccia coll'eclittica NE un angolo (i) tale, che per il momento del contatto in C la tangente comune CT (di ☉ e ☽) sia parallela a NL. Così la Luna passerà vicino al Sole toccandolo soltanto nel punto C. SA rappresenterà la latitudine λ della Luna al tempo dell'opposizione; calando $SL \perp AN$, sarà $\sphericalangle ASL = i$

Dunque

$$SL = AS \cdot \cos i = \lambda \cos i = \rho' + \rho + p' - p\,.$$

Ossia

$$\lambda = \frac{\rho' + \rho + p' - p}{\cos i} = (\rho' + \rho + p' - p) \cdot \sec i\,.$$

Cioè, quando la latitudine della Luna al momento dell'opposizione ha esattamente questo valore, invece dell'eclisse vi sarà

Digitized by Google

un semplice contatto dei dischi (solare e lunare). Quando la latitudine è maggiore, l'eclisse sarà impossibile.

532. — La ricerca dei luoghi sulla Terra, nei quali si osservano le suddette fasi di un'eclisse solare, è un problema troppo complicato, per poter essere discusso in tutti i suoi particolari in questo compendio. Contentiamoci quindi di alcuni cenni più generali. La figura 270 mostra le **varie posizioni della Terra** T (I–VII) durante il fenomeno. Se il globo terrestre fosse senza rotazione, tanto la penombra P, quanto l'ombra O, spostandosi (relativamente) da Ovest verso Est, verrebbero a contatto col medesimo punto A della Terra TI; cioè gli osservatori, i quali si trovano presso A, sarebbero i primi a veder principiare le varie fasi dell'eclisse sul nostro pianeta, ed osserverebbero queste fasi, avendo il Sole presso l'orizzonte; poichè A trovasi necessariamente nel circolo terminatore (di giorno e notte). Ma siccome la Terra ruota intorno all'asse proprio da Ovest verso Est, invece del punto A sarà sottentrato un altro punto B, quando il cono dell'ombra pura viene a toccare la Terra (TII); e quando avviene l'ultimo contatto colla penombra in C (cfr. TIII), tanto il punto A, quanto il punto B, si sono allontanati dal circolo terminatore.

Conseguentemente gli osservatori, i quali trovansi nel luogo A, saranno i primi a vedere il principio dell'eclisse (parziale), ossia il primo contatto dei lembi, solare e lunare; quelli che osservano in B, saranno i primi a vedere il principio della totalità; quelli in C i primi a vedere l'ultimo contatto, ossia la fine dell'eclisse. Tutti però osservano queste fasi col levar del Sole nei luoghi rispettivi (A, B, C).

In M (IV) il cono ombroso è arrivato ad una posizione intermedia tra il principio e la fine dell'eclisse; ivi il Sole al momento della massima fase trovasi allo zenit del luogo. Coll'ulteriore avanzare dell'ombra e della penombra da M verso Est, si ripetono (in V, VI, VII) le medesime fasi di prima (III, II, I) ma in ordine inverso. Il luogo A′ (V) diverso da A (I) vede il principio dell'eclisse insieme col tramonto del Sole, B′ (VI) la massima fase, C′ (VII) la fine, anch'essi col tramonto del Sole in questi luoghi rispettivi.

533. — Per illustrazione ulteriore di tutto lo svolgimento del fenomeno, serve la figura maggiore di mezzo, la quale

Digitized by Google

rappresenta l'andamento dell'**eclisse totale del 16 aprile 1893** sulla Terra (proiettata stereograficamente).(1)

I punti A, B, C, M, A′, B′, C′ corrispondono ai punti rispettivi dei casi già spiegati. A è quindi il luogo terrestre, dove la penombra per la prima volta viene in contatto colla Terra;

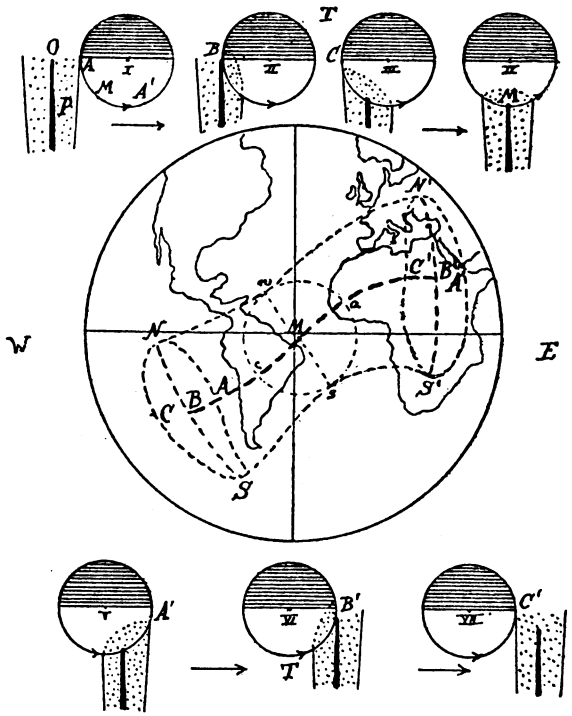


Fig. 270.

ma siccome la sezione di questa penombra ha una certa larghezza, essa si spande subito per tutta l'estensione della linea N A S, verso Nord (N) e verso Sud (S); questa linea del confine orientale della penombra della Terra progredisce rapidamente, e quanto più s'inoltra verso il centro del globo,

(1) Abbiamo scelto quest'esempio, perchè la figura qui apparisce meno deformata a cagione dell'andamento dell'ombra attraverso le regioni equatoriali della Terra.

Digitized by Google

tanto più nettamente si proietta colla sua forma circolare *n a s* sul globo terrestre. Arrivata in A', ossia in N' A' S', tutti i punti situati sopra questa curva per la rotazione terrestre si nascondono nell'oscurità della notte; cioè sulla curva N' A' S' si trovano quei luoghi della Terra, i quali vedono il primo contatto al tramonto del Sole. Lo stesso vale rispetto alla *fase totale* per i punti B M B'. L'espansione dell'ombra pura è sempre relativamente ristretta,(1) la linea più marcata indica la sua estensione verso Nord e Sud, ed allo stesso tempo l'andamento da B per M verso B'. M vedrà la fase totale a mezzogiorno, B al levare, e B' al tramontare del Sole. Le linee N B S (*n* M *s*), N' B' S', rappresentano i luoghi sulla Terra, dove vedesi *la fase massima* (diversa nei varii luoghi) dell'eclisse, rispettivamente ai tempi del levare, del mezzogiorno e del tramonto del Sole: con questa differenza, che quanto il luogo è più lontano da B, tanto minore sarà la rispettiva fase massima, la quale in N ed S si riduce ad un mero contatto,(2) donde le linee N *n* N' e S *s* S' denotano i limiti della visibilità dell'eclisse verso le regioni più settentrionali o meridionali. L'interpretazione delle linee N C S, *n c s*, N' C' S', è somigliante a quella già fatta di N A S ecc.

534. — Tali disegni sono utilissimi, perchè mostrano a colpo d'occhio quasi tutte le particolarità dell'interessante fenomeno. Vediamo senz'altro, che l'eclisse comincia a manifestarsi prima nell'Oceano Pacifico, che sarà poi visibile in tutta l'America del Sud, nella parte centrale dell'Atlantico, nelle regioni più australi dell'Europa, nell'Africa occidentale ed in una parte dell'Asia Minore. Si vede, come la zona della totalità attraversa tutto il Brasile dal S W verso N E, come dalla costa americana passa a quella dell'Africa, dove entrando nella Senegambia passa pel Senegal, per lasciare finalmente la Terra col tramonto del Sole nel Sudan. Per gli astronomi desiderosi di

(1) In quest'occasione, essendo la Luna vicino al perigeo, con un diametro apparente di 33' 7", il Sole invece in una posizione intermedia tra perigeo ed apogeo, con un diametro apparente di 31' 55", l'ombra era più grande del solito, avendo in M un diametro di circa 150 chilometri. La durata (massima) della totalità era di $4^m\,48^s$.

(2) Simili linee potrebbero tracciarsi, per indicare i limiti, dove la fase massima arriva ad una grandezza di 9, 6, 3 digiti, ecc.

Digitized by Google

osservare l'eclisse, è naturalmente di somma importanza, conoscere tutte queste particolarità molto tempo prima che avvengano.

535. — Il metodo più speditivo, per conoscere le accennate particolarità di una eclisse è **il metodo grafico.** Conoscendo (dalle tavole della Luna) il momento della congiunzione (☍ ☌ ☽), si conosce anche la posizione esatta del Sole sulla sfera celeste, e mediante l'Ascensione retta e Declinazione di questo si conosce pure la longitudine e latitudine geografica del luogo terrestre (A), il quale allora ha il Sole al zenit. Si può quindi senza difficoltà disporre un globo terrestre (Fig. 271) in maniera tale, che il detto punto (A) si trovi perpendicolarmente al disopra del centro C; in altri termini, che l'altezza PB del polo sia il complemento di PA. I raggi solari così formerebbero altrettanti perpendicolari sull'orizzonte HBH', il quale rappresenta allo stesso tempo il circolo terminatore tra il giorno e la notte. Al disopra del globo si colloca un regolo LL' parallelo al piano dell'orizzonte HH', in modo tale, che rappresenti l'orbita relativa della Luna durante l'eclisse (n. 526), come questa apparirebbe veduta dal Sole. Cominciando dal passaggio lunare al meridiano BA (tempo della congiunzione in Æ), si divide il regolo in parti, secondo il moto lunare relativo, di quarto in quarto d'ora, e da ciascuno di tali punti si cala una perpendicolare sul globo. Affinchè questi perpendicoli rappresentino la proiezione del centro lunare sulla Terra, ossia la linea tracciata dall'ombra pura sulla medesima, basta girare convenientemente il globo intorno al suo asse di quarto in quarto d'ora. Per avere le altre curve, corrispondenti ai semplici contatti, si fa camminare un piccolo disco d'un raggio uguale alla somma dei raggi ☍ e ☽, sul regolo, calando i perpendicoli intorno ad esso (collocato parallelo all'orizzonte HBH'). Per avere i limiti delle altre fasi, si diminuisce questo disco di $^1/_{12}$, $^2/_{12}$ ecc. del suo diametro; anzi un disco solo, diviso in settori di raggi diversi (Fig. 272), può servire per le varie fasi.

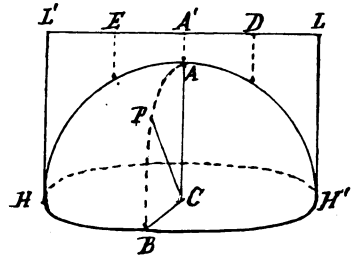


Fig. 271.

Digitized by Google

536. — In questo modo si potrebbero con grande approssimazione determinare non solamente le linee generali della rispettiva fase massima, ma anche lo sviluppo della variazione delle **varie fasi per un luogo determinato**, per esempio, Roma. Vi è però un altro metodo grafico ancora più preciso, che serve a questo scopo, e siccome il problema delle eclissi solari si riduce nei casi pratici ordinariamente a questo, ne diamo una breve descrizione, prendendo come esempio **l'eclisse anulare del 10 novembre 1901**, della quale il *Nautical Almanac* dà i seguenti elementi (essendo tutti i tempi espressi in tempo solare medio astronomico di Greenwich):

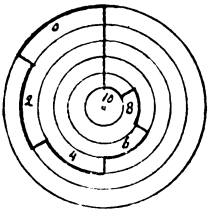


Fig. 272.

☉ ☌ ☽ in Ascensione retta 10 nov. .		$19^h\ 18^m\ 3^s,1$
☉ e ☽ Ascensione retta	$\alpha =$	$15^\circ\ 3'\ 0'',48$
Declinazione (Sud).	$\delta =$	$17^\circ\ 15'\ 41'',7$
Moto orario in Ascens. retta . .	$a =$	$2'\ 31'',9$
☉ Moto orario in Decl. (verso Sud) .	$d =$	$0'\ 41''9$
Parallasse orizzontale equatoriale .	$p =$	$8'',89$
Raggio (apparente).	$\rho =$	$16'\ 9'',55$
Declinazione	$\delta' =$	$16^\circ\ 49'\ 40'',9$
Moto orario in Asc. retta	$a' =$	$30'\ 21'',3$
☽ Moto orario in Decl. (verso Sud) .	$d' =$	$5'\ 33'',8$
Parallasse orizzontale (equatoriale).	$p' =$	$53'\ 55'',95$
Raggio (apparente)	$\rho' =$	$14'\ 41'',91$

537. — Dal disegno, che accompagna la descrizione del fenomeno nelle citate effemeridi, si vede, che l'eclisse era in parte visibile in tutta l'Italia. Siccome però la linea, che indica la fase massima al levar del Sole, attraversa la stessa Italia, non era senza interesse, sapere come si svolgerebbe il fenomeno in un luogo determinato, per esempio **Roma**, la di cui latitudine geografica è uguale a 42° circa.

Adottando una scala qualunque (1 millimetro = 1′), descriviamo (Fig. 273) col raggio C T $= p' = 53',8$ un circolo, che

Digitized by Google

rappresenti il globo terrestre, proiettato ortogonalmente sul Sole, ossia sulla sfera celeste alla distanza lunare, nel momento della congiunzione. Il centro C della proiezione (veduto dal centro della Terra) coinciderebbe col centro del Sole, come coincide pure col punto proiettato della superficie terrestre, il quale in quel momento ha il Sole al zenit, la cui latitudine geografica perciò sarà $\delta = -17^\circ 15',7$. L'asse terrestre stia nella direzione di $CN \perp CT$. Per costruire la proiezione del parallelo di Roma (n. 66), si prende sopra TN

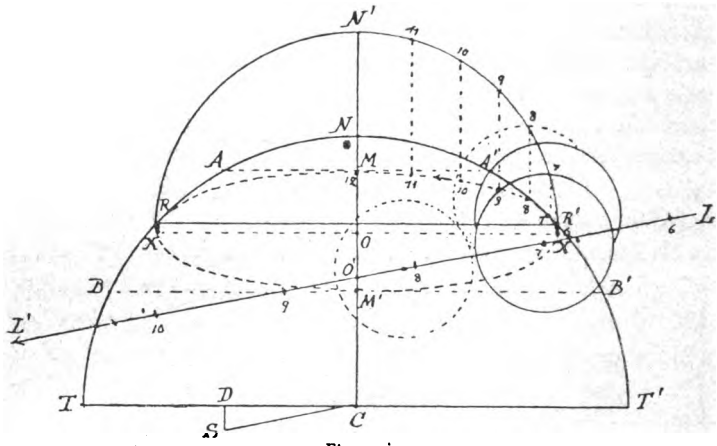


Fig. 275.

un arco $TR = 42^\circ = \varphi$; poi si fa $RR' \parallel TT'$. Sapendo che il parallelo di $-17^\circ 15',7$ si proietta sul centro C, sappiamo pure, che l'equatore e tutti i paralleli, proiettati come ellissi, avranno un asse minore veduto in iscorcio, corrispondente a due volte $17^\circ 15',7$. Perciò si prendono gli archi

$$RA = RB = 17^\circ 15',7 = R'A' = R'B';$$

congiungendo poi A con A', B con B', troveremo in M ed M', i termini della proiezione dell'asse minore. Il punto di mezzo O sarà il centro dell'ellisse, $XX' \parallel TT'$ l'asse maggiore, determinato dalle perpendicolari RX ed R'X'. Si può quindi costruire senz'altro l'ellisse XMX'M' che rappresenta la proiezione ortografica del parallelo di Roma.

Digitized by Google

Per segnare sopra l'ellisse i punti corrispondenti al tempo vero solare, si costruisce sopra X X′ come diametro il semicircolo X N′ X′, dividendolo di 15° in 15°, corrispondenti alle ore 6 della mattina fino alle 6 della sera. Tirando poi dai punti rispettivi 7, 8, 9 ecc. tante perpendicolari sopra X X′, queste segneranno senz'altro le proiezioni dei rispettivi punti orari sull'ellisse del parallelo. M segna il punto delle 12; poichè trovandosi il Sole col centro sul meridiano di M, questo avrà mezzogiorno; gli altri punti del parallelo indicano le ore ivi segnate. La Terra proiettata gira nel senso della freccia; cioè la parte superiore dell'ellisse è voltata verso il Sole, il quale diventa visibile tra le 6 e le 7.

538. — Posto ciò assegnamo alla Luna la sua orbita relativa (L L′). La differenza delle declinazioni di ⊕ e ☽, cioè $\delta - \delta' = 26',0$ ci fornisce il punto O′, dove la Luna (☽☌⊕) attraversa il circolo di declinazione C N′ sulla sfera celeste. La differenza del moto orario in ascensione retta $a' - a = 27',8$ ci dà la distanza C D, quella del moto orario in declinazione $d' - d = 4',9$ (verso Sud) fornisce D S ⊥ C D. Congiungendo S con C, si tira per O′ la retta L L′ ∥ C S; avremo così la direzione dell'orbita relativa della Luna (veduta dal centro della Terra). Per conoscere la posizione esatta della Luna sulla medesima, basta dividere il moto orario risultante C S in 60 parti uguali e portare quelle divisioni sulla L L′, di qua e di là da O′; O′ segna un tempo noto, cioè quello della congiunzione, ossia 10 nov. $19^h\ 18^m$ tm. Greenwich, che cambiato in tempo civile diventa 11 nov. $7^h\ 18^m$, ossia $8^h\ 18^m$ per il meridiano dell'Europa centrale, $8^h\ 8^m$ tempo medio di Roma $= 8^h\ 24^m$ tempo vero di Roma (n. 78 sgg.). Avendo così segnati i singoli minuti sull'orbita relativa L L′, basta fare due dischi di cartone coi raggi rispettivi di ⊕ e ☽ [$\rho = 16',1$; $\rho' = 14',7$], e metterli coi loro centri uno sull'orbita lunare, l'altro sul parallelo ai tempi rispettivi. La rotazione della Terra è rappresentata dallo spostamento della città di Roma, che alle ore 12 si trova in M, alle 11, 10, 9 ecc. nei punti rispettivi, vedendo il Sole in direzione perpendicolare al piano del disegno. Così si trova, che il contatto dei due dischi accade già molto prima del levar del Sole sull'orizzonte di Roma; anzi la fase massima (di 0,8 diam.) ha luogo col nascere del Sole; l'ultimo

Digitized by Google

contatto dei lembi avviene alle $8^h\ 10^m$ tempo solare vero di Roma, ossia $7^h\ 54^m$ tempo medio, il quale equivale a $8^h\ 4^m$ di tempo medio dell'Europa centrale.(1)

COROLLARIO. — OCCULTAZIONE DELLE STELLE DIETRO LA LUNA.

539. — La Luna, attraversando lo zodiaco ogni mese, incontra sulla via percorsa molte stelle fisse, le quali vengono per qualche tempo coperte dal disco lunare e quindi invisibili a noi. Al primo contatto (del lembo orientale) della Luna colla stella, questa sparisce, per ritornare poi, più o meno tardi, secondochè la linea, tracciata da essa dietro la Luna, passa più o meno presso il centro lunare. Il fenomeno della scomparsa si chiama **immersione**, la ricomparsa **emersione** della stella. Tutto il fenomeno si rassomiglia a quello di un'eclisse solare, e ammette quindi anche una discussione simile; anzi quello delle occultazioni è più semplice, in quanto la stella fissa(2) invece di un disco apparisce come un punto luminoso, senza movimento proprio; la linea di passaggio della stella attraverso il disco, lunare è quindi sempre parallela all'orbita (apparente) della Luna. La distanza però di questa linea dal centro lunare, e conseguentemente anche la sua lunghezza, dalla quale dipende la durata dell'occultazione, viene modificata dalla posizione dell'osservatore sulla Terra; cioè bisogna tener conto della parallasse della Luna.

540. — Le effemeridi astronomiche sogliono pubblicare per ogni anno una **lista di stelle** (visibili ad occhio nudo) occultate dalla Luna, che ascendono talvolta a più di 10 in 24 ore.

(1) Noi abbiamo ottenuto questo risultato con un disegno eseguito sopra scala maggiore, nel quale 4 millimetri rappresentavano 1'. Il calcolo rigoroso, che copre molte pagine in foglio, diede per la fine dell'eclisse $8^h\ 4^m\ 26^s$, per la grandezza della fase massima 0,841 diam. ☾: risultati che combinano ottimamente con quelli trovati col metodo grafico. Il Sole nasceva in quel giorno alle $6^h\ 55^m,5$ mentre la fase massima avea luogo alle $6^h\ 48^m$. Gli angoli di posizione delle varie fasi si determinano facilmente sul disegno. Pei vari metodi di questi calcoli rimandiamo ai trattati speciali.

(2) Anche i pianeti, in casi però molto rari, vengono occultati. Aristotele (De coelo, l. 2, text. 60) per esempio, riferisce un'occultazione di Marte.

Digitized by Google

Si trova ivi indicato il tempo della congiunzione geocentrica dei due astri, insieme colle coordinate equatoriali e coi limiti delle latitudini geografiche, fin dove il fenomeno sarà osservabile, poichè andando più oltre verso i poli, la stella (a cagione della parallasse lunare) passerebbe senza occultazione al di sopra, ovvero al di sotto della Luna. Immaginiamo un osservatore, collocato sulla stella, il quale osservi il disco lunare proiettato ortogonalmente sul disco apparente della Terra; egli vedrebbe il primo attraversare il secondo da Ovest verso Est, coprendo una certa zona della Terra uguale al diametro apparente della Luna. Quelli che si trovano nell'interno di questa zona terrestre vedrebbero viceversa la stella coperta dalla Luna, per un tempo tanto più a lungo, quanto stanno più vicini alla linea centrale di detta zona. Da ciò si vede, che qui pure si potrebbe adoperare un metodo grafico, simile a quello già esposto (n. 535), per determinare gli elementi del fenomeno per un dato luogo.(1)

541. — Per dirigere più facilmente l'attenzione dell'osservatore verso quel **punto del lembo lunare**, dove accadono i fenomeni dell'immersione ed emersione, gli astronomi sogliono oltre i tempi dei contatti calcolare eziandio la posizione dei detti punti, riferendoli o al punto più alto della Luna, ovvero al punto più settentrionale; il primo si trova conducendo un circolo verticale pel centro della Luna, il secondo per mezzo d'un circolo di Declinazione.

Come la Luna, così i **pianeti** possono occultare ed eclissare non solamente i proprii satelliti, ma anche le stelle fisse; anzi rarissime volte un pianeta può occultare un altro, come similmente una stella («fissa»), a cagione di un piccolo moto proprio, un'altra stella (fissa). La determinazione di tutti questi fenomeni è abbastanza semplice, e si deduce facilmente dalle cose fin qui esposte.

542. — L'osservazione delle occultazioni serve a rettificare le tavole lunari, come pure per la determinazione delle longitudini geografiche (n. 275). L'indecisione dei contatti della

(1) Il metodo si trova descritto più a lungo dal P. Rigge S. J. in un articolo delle «Astronomische Nachrichten», n. 3342, al quale per mancanza di spazio rimandiamo i nostri lettori.

Digitized by Google

Luna coll'ombra sfumata terrestre rende a ciò meno utili le ordinarie eclissi lunari; invece nelle occultazioni i contatti, ossia l'immersione e l'emersione delle stelle, si possono osservare con grande precisione. Anzi combinando l'osservazione delle occultazioni delle stelle fisse con quella d'un eclisse totale della Luna, si trova un mezzo preziosissimo per determinare con squisita esattezza la **posizione della Luna** tra le stelle fisse. La ragione si è, perchè allora il disco lunare, ugualmente oscuro in tutta la sua superficie, nondimeno ancora abbastanza visibile, permette l'osservazione di tutte le stelle, anche telescopiche e piccolissime, che si trovano sulla strada, percorsa dalla Luna.

Il calcolo e l'esatta predizione delle eclissi ha conferito non poco al **prestigio dell'astromeccanica**. Quei fenomeni che una volta formavano oggetto di orrore e spavento nella mente di gente incolta e superstiziosa,[1] si osservano oggidì con diletto e piacere. Non piccoli sono poi i vantaggi, derivati da codeste determinazioni, per la cronologia. Di altri fenomeni interessantissimi, che accompagnano le eclissi, specialmente totali ed anulari del Sole, parleremo nel libro seguente.

CAPITOLO V.

CALENDARI E LUNARI.

ART. I. — PRENOZIONI.

543. — Come i periodi più brevi del tempo (giorni, ore, minuti, ecc.) vengono determinati dal corso degli astri, specialmente del Sole e della Luna, così i periodi più lunghi: mesi, anni, secoli, epoche, ecc. da tempo immemorabile presso

(1) « Nemo observat Lunam, nisi laborantem. Tunc urbes conclamant, tunc pro se quisque superstitione vana trepidat ». (Seneca, Quaestiones nat. l. VII, c. 1). Noi stessi abbiamo ancora sentito questi clamori nelle città capitali delle Indie orientali.

Digitized by Google

tutti i popoli, antichi e moderni, vengono regolati dai movimenti celesti.(1)

Il grande influsso, che esercitano gli astri del giorno e della notte sulla vita umana, la facilità di notare le varie vicissitudini e configurazioni dei medesimi nelle diverse posizioni sulla volta celeste, spiegano più che sufficientemente la dipendenza del Calendario o Lunario e della cronologia dall'astronomia.

Le notti illuminate dallo splendore d'una Luna piena (specialmente nei climi più caldi), si prestarono molto alle feste notturne come pure al prolungamento dei lavori pubblici. Le varie fasi ☽ ☽ ☾ ☾ divisero in un modo naturale ogni **lunazione** (mese) in quattro **settimane.**

Il ritorno finalmente del Sole allo stesso segno zodiacale, il ricominciare la stessa serie di stagioni, segnò da sè il noto periodo maggiore, chiamato **anno.**

544. — Qualche difficoltà però si sperimentò in questi computi naturali pel fatto, che i suddetti periodi non sono perfettamente commensurabili; cioè quattro settimane sono un poco meno di una lunazione (sinodica), dodici lunazioni non sono precisamente un anno solare (tropico). Questo spiega la varietà dei varii sistemi, adottati da diversi popoli. Mentre alcuni dettero la preferenza alla Luna, coll'introduzione di 12 lunazioni esatte, chiamando questo periodo di 354 giorni **anno lunare**, altri invece mantennero l'**anno solare**, abbandonando più o meno il corso della Luna nei dodici mesi, che compongono quest'anno.

545. — Anche le stelle fisse servivano, almeno mediatamente, al controllo dei predetti periodi, specialmente in quei paesi, dove le varie stagioni non presentano tanta variazione come nei climi più freddi. Così gli Egiziani solevano notare il ritorno del Sole alla costellazione del Cane maggiore. Il

(1) « Luna ostensio temporis et signum aevi ». (Eccles. XLIII, 7. Cf. I, Mos. 1, 14). — « Cum videmus... vicissitudines dierum ac noctium, commutationesque temporum quadripartitas ... eorumque omnium moderatorem et ducem Solem; Lunamque accretione et diminutione luminis quasi fastorum notis signantem dies... possumusne dubitare, quin his praesit aliquis effector ». (Cicero, Tusc. I, 28, 29).

Digitized by Google

levare eliaco della stella più brillante di essa, cioè di Sirio o « Sotis » (n. 320, nota 2) era per essi il desiderato segnale della vicina inondazione del Nilo.(1)

Anche in altra maniera le stelle fisse potevano per un dato orizzonte segnalare il periodo di un **anno (sidereo)**. Bastava a ciò osservare, quali stelle nascevano o tramontavano col nascere e tramontar del Sole. Questi fenomeni, cioè il nascere e tramontare cosmico (col ☉ nascente) o acronittico (col tramonto del ☉), ebbero quindi una certa importanza nelle osservazioni astronomiche dell'antichità. Così i Greci osservarono le Pleiadi, Orione, Arturo e simili costellazioni cospicue, avendo trovato, che il loro nascere e tramontare (nei varii sensi) coincideva con certi periodi dell'anno, favorevoli alla navigazione, agricoltura, ecc.

546. — A cagione di tanti modi diversi, di determinare il principio di un anno nuovo, si tardò lungo tempo ad acquistare un' idea precisa della durata esatta dell'anno tropico (numero 460). Rimase pure indeciso per lungo tempo quale giorno dell'anno fosse da considerarsi come il primo. Ordinariamente gli equinozi, ovvero i solstizi, servirono come punti di partenza.(2) Nei tempi cristiani si sostituirono a questi termini le date vicine: 25 di marzo (ab incarnatione Domini), ovvero il 25 dicembre (a nativitate Christi). Ora il 1° di gennaio è generalmente adottato come principio dell'anno.(3)

Sarebbe cosa lunga, enumerare qui i varii periodi, adottati in tempi e paesi diversi. Contentiamoci perciò di esporre, colla dovuta brevità, il sistema del calendario presentemente in uso presso i popoli civilizzati di tutto il mondo, il quale si fonda sul calendario romano, riordinato da Giulio Cesare e di poi riformato dal papa Gregorio XIII.

(1) Siccome però gli antichi Egiziani attribuivano all' anno tropico 365 giorni soltanto (invece di $365\frac{1}{4}$), il nascere eliaco di Sirio anticipava ogni anno $\frac{1}{4}$ giorno, in 4 anni un giorno intero, in $4 \times 365 = 1460$ anni, avendo fatto il giro per tutti i giorni dell'anno tropico, ritornava alla stessa data. Un tale periodo si chiamava Periodo sotiaco.

(2) Lo stesso nome di *anno tropico* allude a questo; poichè questo cominciava e finiva coll'entrare del Sole nei tropici (♋ o ♑).

(3) I Russi fino al secolo passato cominciavano l'anno tropico col primo di settembre; similmente i Cofti coll'ultimo giorno di agosto. Cf. Exod. XII, 2; Lev. XXIII, 5.

Digitized by Google

Art. II. — Calendario Romano, riordinato da Giulio Cesare.

547. — Gli antichi Romani contavano i loro periodi secondo le lunazioni e le fasi lunari. L'anno lunare, di 354 giorni, era composto di 12 mesi nel modo seguente:(1)

1) Martius . . con giorni 31	7) September con giorni 29
2) Aprilis 29	8) October 31
3) Maius 31	9) November 29
4) Iunius 29	10) December 29
5) Quintilis 31	11) Ianuarius 29
6) Sextilis 29	12) Februarius 27

Per aggiustare il periodo dell'anno solare di $365\frac{1}{4}$ giorni, con quello lunare di 354, fin dal tempo dei re (Numa), fu introdotta una riforma, secondo la quale della differenza di giorni $365 - 354 = 11$ (che in due anni cresceva a 22 giorni) si fece un **mese intercalare** (Mercedonius) di 22 giorni,(2) da aggiungersi ogni secondo anno. Per rimediare poi alla differenza di un giorno, da intercalarsi ogni quart'anno, il Mercedonio contava alternativamente 22 e 23 giorni, cosicchè ogni quart'anno (più tardi chiamato bisestile) aveva un Mercedonio con 23 giorni. Per farne un mese completo, si terminava il

(1) Marzo era dedicato a Marte, Aprile ad Apollo (Aperta), Maggio a Giove (Maius), Giugno a Giunone, Gennaio a Giano (Janus), Febbraio a Februo (Plutone); gli altri nomi indicavano semplicemente il numero rispettivo. In quanto al numero dei giorni da assegnarsi ai singoli mesi, quei primi calendaristi romani aveano da lottare con una doppia difficoltà. La lunazione sinodica, di circa $29\frac{1}{2}$ giorni, avrebbe per sè richiesto l'alternazione di 29 e 30 giorni; ma d'altronde essi volevano i numeri dei giorni, compresi in un mese, regolati in maniera tale, che vi fosse sempre un giorno di mezzo, che si ottiene soltanto con un numero dispari 29, 31. L'eccesso di un giorno così dato ai mesi I, III, V, VIII dovette sottrarsi agli altri, e questa successiva correzione sembra avere cominciato dagli ultimi mesi, donde ivi si osserva quella irregolarità di 27, 29 e 31 giorni.

(2) Μερκηδόνιος; il nome allude al mercato, perchè l'ultimo mese dell'anno doveano pagarsi i debiti.

Digitized by Google

febbraio d'un tal anno col 23, aggiungendo i quattro giorni rimanenti al seguente Mercedonio, il quale così avea i soliti 27 giorni dell'ultimo mese.

548. — La nomenclatura usata dagli antichi Romani, per esprimere i varii giorni d'un mese, rammenta le principali fasi d'una lunazione astronomica. Il plenilunio (**Idus**)[1] facilmente osservabile, era il perno del computo. Il giorno precedente ad esso si diceva pridie Idus, il giorno antecedente tertio Idus, e così via fino al giorno nono precedente, chiamato semplicemente **Nonae**. Questo corrispondeva più o meno al Primo Quarto della Luna.[2] Riferendo similmente i giorni precedenti alle None, si diceva con numerazione retrograda pridie Nonas, ecc., fino al primo, chiamato **Kalendae**. In questo giorno i pontefici, avendo osservato la prima falce della Luna dopo il Novilunio, proclamavano solennemente il principio del novo mese.[3] La seconda metà del mese, cioè il tempo dopo il plenilunio, si contava relativamente al novilunio seguente. Quindi l'ultimo giorno, per esempio, di gennaio fu detto pridie Kalendas Februarii, il penultimo tertio Kal. Februarii, ecc.

Coll'andar del tempo, la nomenclatura si rese sempre più indipendente dalle fasi lunari, e furono, una volta per sempre, fissate le date degli Idi e delle None in questo modo, che nei mesi di giorni 31 (Marzo, Maggio, Quintile, Ottobre) le None si celebrassero il settimo, gli Idi il decimoquinto del mese; negli altri mesi, i giorni 5 e 13 vennero rispettivamente assegnati per le None e gli Idi.[4]

Quanto però il computo si rese più indipendente dalle osservazioni astronomiche, tanto più divenne soggetto all'arbitrio dei pontefici e dei regnanti, i quali, per ragioni di inte-

(1) Dal greco εἶδος = faccia (splendente). Cf. pag. 507.

(2) Perchè la differenza tra le None e gli Idi era realmente di 7 giorni soltanto.

(3) Da questa proclamazione (calatio, dal greco καλέω) è derivato il nome di Calende per il primo giorno di ciascun mese; donde poi ebbe origine la stessa parola Calendario (invece di Lunario).

(4) Dappertutto s'incontra una certa preferenza data ai numeri dispari, dei quali dice Plinio (Hist. nat. 28, 2): « Impares numeros ad omnia vehementiores credimus ».

Digitized by Google

resse, intercalavano e cambiavano il calendario quasi a capriccio.(1)

549. — Giulio Cesare, diventato dittatore e pontefice, decise di rimediare ai gravi difetti del calendario, chiamando a ciò da Alessandria l'astronomo Sosigine. Questi (come generalmente gli astronomi di quell'epoca) era di opinione, che l'anno tropico solare contasse esattamente 365 $\frac{1}{4}$ giorni. Siccome l'anno del calendario doveva avere naturalmente un numero intero di giorni, si decretò di contare sempre dopo tre anni di giorni 365 un anno di 366 giorni; così la piccola omissione di $\frac{1}{4}$ giorno, fatta per tre anni, combinato col rimanente resto del quarto, faceva un giorno intero e l'armonia col corso del Sole sembrava in questo modo conservata per sempre. L'equinozio di primavera dovea rimanere sempre nel fissato giorno 25 di marzo.

Eliminando il Mercedonio ed alternando il numero dei giorni dei singoli mesi (num. 547) tra 31 e 30, al solo febbraio si lasciarono giorni 29, ottenendo così la somma annua di giorni 365 per gli anni ordinarii.(2) Negli anni di giorni 366, il febbraio contava giorni 30 invece di 29.

(1) Macrobio chiama semplicemente l'anno che precedeva la riforma di Giulio Cesare «annus confusionis ultimus». Di quei regolatori del calendario attesta Solino: «Plerumque gratificantes rationibus publicanorum pro libidine sua subtrahebant tempora vel augebant» (cap. 1, cf. Cic. de leg. II, ad Att. ep. 5, 9). Sarebbe quindi una cosa molto difficile, anzi forse impossibile, voler ricostruire il calendario di quei tempi.

(2) Secondo gli ordini di Giulio Cesare contavano

31 giorni: Marzo; Maggio; Luglio (Quint.); Sett.; Nov.; Genn.;
30 giorni: Aprile; Giugno; Agosto (Sext.); Ott.; Dic.; (29 il Febbr.).

La somma $6 \times 31 + 5 \times 30 + 29 = 186 + 150 + 29 = 365$.

Il mese di Gennaio fu scelto come primo dell'anno, perchè era il mese della prima lunazione dopo il solstizio d'inverno. Difatti lo stesso giorno 1° Gennaio del primo anno della riforma (45 a. C.) era un Novilunio. — Il mese Quintilis ricevette per ordine di Marc' Antonio il nome di Luglio (Iulius), in onore di Giulio Cesare (nato in questo mese). Più tardi per un decreto del senato anche il nome Sextilis fu cambiato in Agosto, in onore di Cesare Augusto, che avea celebrato un triplice trionfo nel medesimo mese. — Queste innovazioni però trassero seco degli altri inconvenienti, i quali tolsero di nuovo al calendario la sua armonica semplicità. Sembrava al senato una cosa inconveniente, che il mese di Agosto avesse un minore numero di giorni del mese di

Digitized by Google

550. — Colle piccole modificazioni, indicate nella nota, questo nuovo **Calendario Giuliano** rimase fino al secolo XVI d. C. L'intercalazione nel mese di febbraio fu fatta secondo l'uso antico, dopo il giorno 23, il quale avea la data Sexto Calendas (Martii); questa veniva semplicemente raddoppiata dicendosi due volte (BIS) SEXTO, ecc., donde gli anni di 366 giorni furono dipoi chiamati semplicemente **anni bisestili.** L'ordine dei mesi coi rispettivi giorni era questo:

Gennaio (31), febbraio (28 o 29), marzo (31), aprile (30), maggio (31), giugno (30), luglio (31), agosto (31), settembre (30), ottobre (31), novembre (30), dicembre (31).

Riguardo agli anni bisestili, contati secondo l'èra volgare (cristiana) valeva la semplicissima regola: che gli anni divisibili per quattro (come 4, 8, 12, 16, ecc. dopo Cr.),[1] erano dipoi anni bisestili fino alla riforma di Gregorio XIII.

551. — In quanto alla numerazione dei giorni, si manteneva l'uso antico dei tre periodi mensili: Calende, None ed Idi, benchè questi nomi, i quali, come vedemmo, alludono alle fasi lunari, non avessero più nesso veruno colle lunazioni vere.[2]

Luglio, donde levando un giorno dei 29 di Febbraio, lo aggiunsero all'Agosto; per conseguenza anche il giorno dell'equinozio passò dal 25 al 24 di Marzo. Ne seguì però subito l'altro inconveniente, d'avere poi tre mesi di seguito (Luglio, Agosto, Settembre) con 31 giorni, donde si cambiò l'ordine in questo modo: Settembre (30), Ottobre (31), Novembre (30), Dicembre (31). Il quale è di poi rimasto fino ai tempi presenti.

(1) Però è da notarsi, che immediatamente dopo la riforma Giuliana i pontefici, incaricati dell'esecuzione del nuovo computo, sbagliarono di nuovo. Invece di fare bisestile ogni quarto anno, cioè 709, 713, 717 di Roma (45, 41, 37 a. C.), essi intercalarono un anno bisestile ogni terz'anno: 709, 712, 715 ... (45, 42, 39...) L'errore fu avvertito l'anno 748 di Roma (9 a. C.) col quale il numero dei bisestili mostrava già un eccesso di 2. Per rimediare allo sbaglio fatto, tutti gli anni dal 749 fino al 761 (dall'8 a. C. all'8 d. C.) furono contati come anni ordinari di 365 giorni; l'anno 761 (8 d. C.) fu poi di nuovo bisestile, e così di seguito ogni quart'anno secondo la regola data. I cronologisti però sogliono trascurare queste irregolarità, e contano le date, come se dal 709 tutto fosse andato regolarmente.

(2) Per questa ragione anche il modo di parlare della Luna di un mese particolare, non ha più significato retto astronomico, ma meramente convenzionale. I computisti solevano dire: « *In quo completur, mensi lunatio detur* », mentre l'uso volgare tiene piuttosto la regola contraria di nominare p. es. Luna di Marzo la lunazione che principia (col Novilunio) in Marzo. Cf. CLAVII, *Novi Calendari Romani apologia*, l. 2, c. 5.

Digitized by Google

A Dies mensis	B Mart. Mai. Iul. Oct.	C Ian. Aug. Dec.	D Apr. Iun. Sept. Nov.	E Februar. (bissext.)
1	*Kalendis*	*Kalendis*	*Kalendis*	*Kalendis*
2	VI Nonas	IV Nonas	IV Nonas	IV Nonas
3	V »	III »	III »	III »
4	IV »	pridie »	pridie »	pridie »
5	III »	*Nonis*	*Nonis*	*Nonis*
6	pridie »	VIII Idus	VIII Idus	VIII Idus
7	*Nonis*	VII »	VII »	VII »
8	VIII Idus	VI »	VI »	VI »
9	VII »	V »	V »	V »
10	VI »	IV »	IV »	IV »
11	V »	III »	III »	III »
12	IV »	pridie »	pridie »	pridie »
13	III »	*Idibus*	*Idibus*	*Idibus*
14	pridie »	XIX Kalendas	XVIII Kalendas	XVI Kalendas
15	*Idibus*	XVIII »	XVII »	XV »
16	XVII Kalendas	XVII »	XVI »	XIV »
17	XVI »	XVI »	XV »	XIII »
18	XV »	XV »	XIV »	XII »
19	XIV »	XIV »	XIII »	XI »
20	XIII »	XIII »	XII »	X »
21	XII »	XII »	XI »	IX »
22	XI »	XI »	X »	VIII »
23	X »	X »	IX »	VII »
24	IX »	IX »	VIII »	VI »
25	VIII »	VIII »	VII »	V (VI) »
26	VII »	VII »	VI »	IV (V) »
27	VI »	VI »	V »	III (IV) »
28	V »	V »	IV »	pridie(III) »
29	IV »	IV »	III »	(pridie) »
30	III »	III »	pridie »	—
31	pridie »	pridie »	—	—

Digitized by Google

L'accennata trasposizione dei giorni nei singoli mesi cagionò nuove irregolarità, le quali si vedono compendiate nella precedente **tavola**. Mentre per il primo giorno di ciascun mese rimaneva il nome di Calende, gli Idi furono fissati pel giorno 15 dei mesi di marzo, maggio, luglio, ottobre (colonna B); pel giorno 13 negli altri mesi. Siccome però alcuni di questi (gennaio, agosto, dicembre), contano giorni 31 (col. C), il computo dei giorni avanti le Calende del mese seguente era differente di un giorno da quello dei mesi (aprile, giugno, settembre, novembre) con 30 giorni soltanto (col. D); questo di nuovo differente da quello di febbraio (col. E). Similmente le None nei mesi suddetti (col. B) marzo, maggio, luglio, ottobre, accadevano il giorno 7, mentre in tutti gli altri mesi (col. C, D, E) erano fissate al 5. La tavola facilita il cambiamento d'una data qualunque di questo sistema abbastanza complicato nel nostro e viceversa.(1)

ART. III. — RIFORMA DEL CALENDARIO GIULIANO FATTA DAL PAPA GREGORIO XIII.

552. — Il Calendario di Giulio Cesare supponeva, che il Sole compisse il suo corso annuo, da un equinozio all'altro, esattamente in 365 giorni e 6 ore, mentre in realtà vi mancano circa 11 minuti al compimento delle 6 ore. Questi undici minuti, sommandosi da un anno all'altro, nell'intervallo di circa 128 anni, produssero una differenza di un giorno intero, in 1280 anni di 10 giorni; cosicchè nel secolo XIII d. C. l'equinozio del calendario avea dietro quello osservato nel cielo **un ritardo di 10 giorni.**(2)

La differenza fu già avvertita dai padri del Concilio Niceno (325 d. C.), i quali, discutendo la questione della Pasqua, notarono, che l'equinozio, una volta fissato al 24 (25) marzo

(1) In certi documenti, scritti in lingua latina, si suole fino ai giorni nostri adoperare quel metodo antico. Una tavola sinottica, che facilita il confronto del detto computo col nostro presente, trovasi nel *Breviario Romano.*

(2) Più precisamente la differenza annua (num. 460) era di

$$365^d,25 - 365^d,24219987 = 0^d,00780013,$$

che fa in 1 secolo $0^d,780013$, in 13 secoli circa 10 giorni.

Digitized by Google

(num. 549), accadeva invece al 21. Credendo però, che si trattasse di un errore accidentale, commesso nei primi secoli dell'èra volgare, fissarono il giorno 21 per la data futura dell'**equinozio di primavera.**

553. — Questo accomodamento non tolse la causa vera dello spostamento dell'equinozio, il quale perciò continuò a retrocedere ai giorni 20, 19, 18, ecc. Il francescano Ruggero Bacone († 1294), il monaco inglese Giovanni Sacrobosco, come ancora l'agostiniano Giovanni di Sassonia (circa il 1330) studiarono la questione. A cagione del computo ecclesiastico, intimamente connesso colla medesima, il cardinale d'Ailly nel 1412 presentò al papa Giovanni XXIII un piano di riforma, che fu sottoposto poi alla discussione dei padri del Concilio di Costanza (1414). L'anno 1439, per opera specialmente del cardinale di Cusa, nel Concilio di Basilea si discusse lo stesso problema, senza però decidere cosa alcuna in proposito. Tutti vedevano bene, che quello che mancava era una determinazione astronomicamente esatta dell'**anno tropico.** Il papa Niccolò V e più ancora Sisto IV ripresero a studiare la desiderata riforma; anzi quest'ultimo (1473) chiamò a tale effetto a Roma il celebre Giovanni Müller (Regiomontano), il quale però morì sfortunatamente poco dopo il suo arrivo nella città nell'ancor fresca età di anni 41. Dopo le discussioni del Concilio Lateranense 1514, nel quale il vescovo di Fossombrone, Paolo di Middelburg, elaborava un trattato speciale sulla riforma da farsi, Niccolò Copernico fu chiamato, a far parte di una commissione di dotti, i quali doveano preparare una decisione finale. Copernico declinò modestamente l'onorevole incarico, credendo insufficiente il materiale fin allora fornito dalle osservazioni astronomiche.(1)

554. — Intanto proposte per la desiderata riforma venivano da tutte le parti. Il Concilio di Trento trattò la questione soltanto nell'ultima sessione (4 dicembre 1563), incaricando Sua Santità, di provvedere con una revisione del Messale e Breviario. Nuovi passi decisivi furono fatti colla costruzione del gnomone monumentale nella chiesa di S. Petronio in Bologna,

(1) Vedi sopra ciò il nostro libro cit. (n. 352) *Niccolò Copernico*, ecc. p. 55 sgg.

Digitized by Google

fatto dal domenicano Ignazio Dante, mediante il quale si costatò, che l'equinozio era già arrivato al giorno 11 di marzo.

Il dotto Sirleto (che fu poi cardinale, † 1585) indusse allora il medico **Luigi Giglio** (lat. Lilio), professore in Perugia, a comporre un progetto sulla riforma da farsi. Questo progetto fu poi dopo la morte di Luigi presentato (1576) da suo fratello Antonio al papa Gregorio XIII, il quale commise l'esame del medesimo ad una commissione romana, presieduta dal cardinale Sirleto, nella quale tra altri dotti matematici vi erano il summentovato Dante ed il P. Clavio. Allo stesso tempo furono richiesti i giudizi dei vari governi e delle università più rinomate.

555. — Dopo tante preparazioni e precauzioni uscì finalmente (24 febbraio 1582) la famosa Bolla « *Inter gravissimas* » di **Gregorio XIII**, nella quale il papa ordinò, che nel mese di ottobre dell'anno 1582, dopo il giorno 4 (festa di S. Francesco) si togliessero dieci giorni, cosicchè il quinto giorno (5) di detto mese, divenisse il decimoquinto. In questo modo l'equinozio fu per l'anno seguente 1583 restituito alla data, che aveva al tempo del Concilio Niceno, cioè al 21 di marzo.

Affinchè poi lo spostamento dell'equinozio non si rinnovasse di nuovo, si stabilì quest'eccezione della **regola degli anni** bisestili (da succedersi ogni quarto anno): che negli anni secolari (1700, 1800, 1900, ecc.), nei quali il numero del secolo (17, 18, 19, ecc.) non è divisibile per quattro, si omettesse il bisestile, invece negli anni secolari (1600, 2000, 2400), nei quali il numero secolare (16, 20, 24) è divisibile per quattro, si ritenesse il bisestile.[1]

556. — Con questa semplice restrizione della regola dei bisestili si ottiene, che l'equinozio si mantenga sen-

(1) Se avessero nei secoli passati agito secondo questa norma gregoriana, gli anni 300, 500, 600, 700, 900, 1000, 1100, 1300, 1400, 1500 sarebbero rimasti anni ordinari (non bisestili) e l'equinozio sarebbe rimasto al 21 di marzo. Per quelli invece che hanno ritenuto il calendario giuliano difettoso, la differenza di 10 giorni, tra calendario gregoriano e giuliano, cresciuta di nuovo di un giorno negli anni 1700, 1800, 1900, è ormai già diventata di 13 giorni. L'ultimo fu aggiunto il giorno 8 marzo 1900 (24 febbr. giuliano); così p. es. il 1° marzo dei Russi è uguale al nostro (1 + 13) 14 marzo. Questa differenza rimarrà costante per 200 anni, essendo il 2000 bisestile, tanto nel calendario gregoriano, quanto nel giuliano.

Digitized by Google

sibilmente vicino al 21 di marzo. Difatti 400 anni, che prima contavano 146 100 giorni, vengono così ridotti a 146 097 giorni; ora 146 097 : 400 = 365,2425; cioè il valore medio così ottenuto per un anno è di 365 giorni, 5 ore, 49 minuti, 12 secondi, il quale si avvicina tanto al vero, che ci vogliono circa 4000 anni, finchè il piccolo eccesso rimasto, sommandosi, arrivi a 24 ore ossia a fare un giorno intero.

Evitare questo difetto insignificante era quasi impossibile al tempo di Gregorio, non essendosi ancora fin all'ultimo secondo accertato il vero valore dell'anno tropico; il rimediare al medesimo poteva ragionevolmente lasciarsi ai posteri.

557. — La riforma di Gregorio era motivata principalmente dallo **spostamento della Pasqua** e delle altre festività dell'anno ecclesiastico, dipendenti dalla data di questa. La Pasqua era regolata dal primo plenilunio dopo l'equinozio di primavera. Siccome però il calendario civile trascurava quasi del tutto il computo delle lunazioni, e siccome le regole, stabilite dagli antichi per la determinazione delle fasi lunari, venivano pure modificate dalla proposta riforma, era necessario, di riordinare anche questa parte assai più complicata del calendario, come fece realmente Gregorio XIII nella citata sua Bolla. Per dare un'idea del lavoro fatto in questa direzione, dovremo spiegare un poco più distesamente il regolamento generale del calendario ecclesiastico, del tutto fondato sopra nozioni astronomiche.

ART. IV. — CALENDARIO ECCLESIASTICO.

558. — La data di un giorno particolare dell'anno, per esempio dell'equinozio di primavera del 1904, può indicarsi in varie maniere, delle quali queste sono le principali:

1° indicando semplicemente il numero corrispondente del giorno del mese, cioè 21 di marzo;

2° notando il giorno della settimana, dicendo che sarà il terzo lunedì del detto mese;

3° riferendo la data al novilunio (alla « Luna di marzo », num. 551), che accade il 17 di marzo, dicendo che l'equinozio sarà quattro giorni dopo il detto novilunio.

Digitized by Google

Il primo modo basta per gli usi ordinari civili, ed è stato sufficientemente descritto nell'articolo precedente. Il secondo si riferisce tanto all'uso civile, quanto agli usi religiosi; imperocchè indica l'ordinata successione di giorni di lavoro e di riposo, di giorni feriali e festivi. Il terzo, benchè abbia necessariamente le sue conseguenze anche per la vita civile e commerciale, nondimeno appartiene più strettamente all'ordine ecclesiastico, perchè esso serve all'ordinamento delle festività maggiori (mobili) dell'anno nella liturgia ecclesiastica.(1)

559. — **La Settimana**, la quale ha il suo prototipo nei giorni (ἑξαήμερον) della creazione, è l'unico periodo del calendario, che rimonta senza intercalazione veruna e senza cambiamenti fino ai tempi preistorici.(2) Essa rappresenta anche approssimativamente il periodo delle fasi principali della Luna. Gli antichi Romani però usarono piuttosto un periodo di otto giorni nel loro calendario: le cosìdette nundinae, cioè i giorni del mercato pubblico, ricorrevano regolarmente con tale periodo. Per segnalarlo aggiungevano ai varii giorni dell'anno successivamente e con ripetizione continua le otto prime lettere dell'alfabeto A, B, C, D, E, F, G, H, perciò chiamate «litterae nundinales sive novendiales».(3)

(1) Ciò spiega, perchè negli stessi libri liturgici (Breviario e Messale) trovasi un'esposizione abbastanza estesa «De anno et eius partibus» con delle tavole apposite. Perciò il concilio di Trento (sess. 23 de reform.) ordinò, che gli aspiranti al sacerdozio venissero istruiti nel computo ecclesiastico, il quale però allo stesso tempo presta grandi servizi nella risoluzione di questioni di storia e cronologia profana. (Cf. Pontificale Rom. Ordo ad Synodum).

(2) Genesi, II, 2. Exod. XX, 10, 11; XXX, 13 ss. Deuteron, V, 14. Hebr. IV, 4. I cambiamenti riguardano semplicemente la nomenclatura dei vari giorni, o anche il giorno destinato al riposo, il quale coll'èra cristiana passò dal sabbato alla domenica, giorno della risurrezione gloriosa di Gesù Cristo. I nomi ordinari di origine pagana (n. 314) furono per l'uso ecclesiastico cambiati dal papa san Silvestro, il quale, per la ragione già detta, ritenendo il nome di Sabato e Domenica (giorno del Signore) chiamò i giorni seguenti: Lunedì, ecc. semplicemente feria II, III, IV, V, VI, la quale nomenclatura viene fino ai giorni nostri adoperata nei libri ecclesiastici.

(3) Siccome i Romani nelle loro enumerazioni solevano comprendere i due termini (*a quo et ad quem*), anche qui consideravano il periodo come composto di nove giorni. L'uso in questo caso è rimasto fino ai tempi nostri; poichè parlando di una settimana, si suol usare anche l'espressione di 8 giorni dicendo, p. es. oggi otto, ecc.

Digitized by Google

Quest'uso è stato ritenuto nel calendario ecclesiastico, nel quale troviamo con simile legge disposte le cosidette (7) **Lettere Domenicali**, le quali, cominciando con (A) primo di gennaio, finiscono pure con un A, il 31 di dicembre; poichè un anno ordinario di 365 giorni è composto di 52 settimane ed un giorno, finisce quindi collo stesso giorno della settimana, col quale incominciò, ossia l'anno seguente comincia col giorno seguente. Così l'anno primo dell'èra cristiana (1 d. Cr.) cominciò con un sabato, l'anno secondo con un lunedì.

560. — Avendo quindi, una volta per sempre, a ciascun giorno dell'anno assegnato la sua lettera

Gennaio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 . . .
»	*A*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*A*	*b*	*c* . . .
Febbraio	1	2	3	. . . . .				Dicembre	29	30 — 31
»	*d*	*e*	*f*	. . . . .				»	*f*	*g* — *A*

basterà sapere, quale lettera corrispondi alle domeniche (quale sia la lettera domenicale) di un anno qualunque particolare, per conoscere immediatamente, quale giorno della settimana corrisponda ad una data qualunque del medesimo anno. Per esempio, la lettera domenicale del 1903 era *d*, dunque le lettere A, *b*, *c* corrispondevano in quell'anno ai giorni rispettivi giovedì (A), venerdì (*b*) e sabato (*c*); le lettere *e*, *f*, invece al lunedì (*e*) e martedì (*f*). Il 21 di marzo che ha immutabilmente la lettera *c*, era dunque in quell'anno un sabato.

Gli anni bisestili hanno due lettere domenicali, delle quali la prima vale fino al giorno 24 di febbraio, l'altra dopo questo giorno. Così l'anno 1904, essendo bisestile, ha le lettere domenicali *c* e *b*; conseguentemente il giorno 21 di febbraio (*c*) sarà domenica, il 24 (*f*) un mercoledì. Questa lettera (*f*), lettera del mercoledì, ripetuta nel giorno seguente (25) (bis sexto), diventa lettera del giovedì; cosicchè per un anno bisestile abbiamo 24 (*f*), 25 (*f*), 26 (*g*), 27 (A), 28 (*b*), 29 (*c*). La lettera domenicale (*c*) del 1904 diventando lettera del lunedì, cede il posto di lettera domenicale alla (*b*). Così il 21 di marzo 1904 è un lunedì.[1]

(1) Si noti però, che con ciò la successione dei giorni settimanali non cambia affatto, ma cambia soltanto la successione delle lettere, per quei pochi ultimi giorni di febbraio. Un simile salto rispetto alla lettera

Digitized by Google

561. — La tavola del cosidetto **Ciclo solare**[1] facilita la ricerca dei giorni domenicali di un anno qualunque. Il ciclo fu introdotto fin dall'anno 9 a. C. Per trovare la lettera domenicale di un anno, per esempio 1581, si aggiunge 9 al numero rispettivo (1581 + 9 = 1590), la somma così ottenuta divisa per 28 (1590 : 28 = 56) dà il resto 22. Questo (22) indica il numero del ciclo, a canto del quale nella colonna rispettiva si trova la lettera cercata (A). Dall'esempio si vede, che l'anno 1581 cominciò con una domenica. Se non vi rimane resto veruno, si considera 28 come resto.

La stessa regola vale per gli anni dopo la riforma gregoriana (come tosto spiegheremo). La tavola però ha perduto un poco della sua semplicità originale per questo tempo susseguente.

562. — Coll'introduzione della riforma gregoriana, l'anno 1582 ebbe 355 giorni soltanto, invece di 365. L'anno della riforma, essendo il 23mo del ciclo solare, colla lettera domenicale *g*, cominciò con lunedì, ma invece di finire col lunedì, finì col venerdì. Conseguentemente l'anno seguente 1583, il 14mo del ciclo, cominciò col sabato e la sua lettera domenicale non fu *f* (come voleva l'antica tavola) ma *b*. L'anno bisestile 1584 ebbe le lettere A*g*, il seguente *f*; l'ultimo, il 28mo del ciclo, cioè 1587 la lettera *d*; cosicchè il nuovo ciclo, come vedesi nella tavola, cominciò colle lettere *c b*.

domenicale, fu fatto nel mese di ottobre 1582 colla riforma di Gregorio XIII; imperocchè il giorno 4 ottobre (*d*) era un giovedì, al quale succedette il 15 venerdì, quindi la lettera A di questo giorno, che fin allora segnalava i lunedì del 1582, diventò la lettera del venerdì; in altre parole la lettera domenicale *g* fu cambiata in *c*, cosicchè anche l'anno 1582 benchè non fosse anno bisestile aveva due lettere domenicali.

(1) Il nome ciclo solare sembra alludere all'antico nome Dies solis per la domenica (num. 314). Le lettere progrediscono, come vedesi, contro l'ordine alfabetico. L'antica regola era questa:

Iunge annis Domini ter ternos, perque viginti
Octo seca summam, cyclus solaris habetur.

L'anno primo dell'êra cristiana fu il decimo del primo ciclo. L'importanza pratica delle tavole citate si vede da ciò, che per mezzo di esse facilmente si determina la data precisa di un giorno, del quale gli scrittori spesse volte non indicano che il posto relativo nella settimana e viceversa.

Digitized by Google

Tavola delle lettere domenicali.

Num. del ciclo	Dal 9 a. Cr. al 1582	Dal 1583 al 1699	Dal 1701 al 1799	Dal 1801 al 1899	Dal 1901 al 2099
1	*g f*	*c b*	*d c*	*e d*	*f e*
2	e	A	b	c	d
3	d	g	a	b	c
4	c	f	g	A	b
5	*b A*	*e d*	*f e*	*g f*	*A g*
6	g	c	d	e	f
7	f	b	c	d	e
8	e	A	b	c	d
9	*d c*	*g f*	*A g*	*b A*	*c b*
10	b	e	f	g	A
11	a	d	e	f	g
12	g	c	d	e	f
13	*f e*	*b A*	*c b*	*d c*	*e d*
14	d	g	A	b	c
15	c	f	g	A	b
16	b	e	b	g	A
17	*A g*	*d c*	*e d*	*f e*	*g f*
18	f	b	c	d	e
19	e	A	b	c	d
20	d	g	A	b	c
21	*c b*	*f e*	*g f*	*A g*	*b A*
22	A	d	e	f	g
23	g	c	d	e	f
24	f	b	c	d	e
25	*e d*	*A g*	*b A*	*c b*	*d c*
26	c	f	g	A	b
27	b	e	f	g	A
28	A	d	e	f	g

Digitized by Google

Da tutto ciò si fa manifesto, che il ciclo solare, a cagione della riforma, avanzò di 10 lettere, ossia (poichè dopo 7 ritornano le stesse, di $10 - 7 = 3$) di tre lettere, cominciando non più come prima con *gf*, ma con *cb*. Nuove modificazioni vennero cogli anni 1700, 1800, 1900, i quali secondo il computo giuliano sarebbero stati anni bisestili, non secondo la riforma. L'anno 1700, come bisestile e primo anno del ciclo nuovo, avrebbe avuto le lettere domenicali *cb*; essendo ora anno comune, ebbe *c* soltanto, quindi il 1701 ebbe *b*, il 1702 A, 1703 *g*, 1704 *fe*, ecc.; donde si vede, che la disposizione del ciclo solare dovette subire un nuovo cambiamento dal 1599 al 1700, come pure negli anni 1800, 1900. Per questi anni secolari 1700, 1800, 1900 vale la stessa regola del secolo, che chiudono. Per avere, per esempio, la lettera domenicale del 1900, troviamo: $1900 + 9 = 1909$; $1909 : 28 = 68$, col resto 5, al quale corrispondono (dal 1801 al 99) le lettere *gf*; siccome però 1900 non è un anno bisestile, vale la prima lettera sola per tutto l'anno; dunque *g* era lettera domenicale pel 1900. Il 1901 col resto 6, secondo l'ultima colonna, ha la lettera *f*, ecc.

563. — Cicli lunari. La Chiesa, adottando il calendario romano, fondato quasi esclusivamente sull'anno solare, ciononostante per le feste principali, specialmente per quella della Pasqua,[1] ha voluto conservare l'antica tradizione (Eccl. XLIII, 7, 8) di regolarla secondo la Luna. La risurrezione di Gesù Cristo, essendo accaduta in giorno di domenica, fino dai tempi apostolici, volle celebrarsi in tal giorno; cioè nella prima do-

(1) La Pasqua regola le altre feste mobili: Settuagesima e Mercoledì delle ceneri la precedono di un numero costante (63 e 46) di giorni; l'Ascensione (40), la Pentecoste (49), il *Corpus Christi* (66) la seguono con legge somigliante. Le Quattro tempora si celebrano (mercoledì, venerdì e sabato) dopo la III dom. di Avvento, I di Quaresima, dopo Pentecoste e dopo la festa della Croce (14 sett.). La prima domenica di Avvento è il giorno 30 novembre (S. Andrea), se questo cade in domenica, altrimenti tra le due domeniche, che precedono e seguono questa data, si sceglie la più vicina.

Dalla distanza poi della Settuagesima dall'Epifania (6 gennaio) dipende il numero delle domeniche « post Epiphaniam », come quello delle domeniche dopo Pentecoste « post Pentecosten » dipende dall'intervallo, ora maggiore ora minore, della Pasqua (o Pentecoste) dalla prima domenica dell'Avvento.

Digitized by Google

menica dopo la pasqua degli Ebrei. Questa (Exod. XII, 2 sgg.) dipende dal plenilunio che coincide o segue (immediatamente) l'equinozio di primavera. Così anche la Pasqua dei cristiani dovette regolarsi col «plenilunio di primavera».

Era dunque di una certa importanza per la Chiesa, di avere un metodo facile, ma allo stesso tempo abbastanza corretto, per determinare questo plenilunio; alla qual cosa serviva e serve ancora mirabilmente il ciclo di diciannove anni, già conosciuto nell'antichità, secondo il quale, come notò l'astronomo ateniese METONE (430 av. Cr.), dopo 19 anni (giuliani) ossia 6939 giorni (ed $\frac{1}{4}$) ritornano le stesse fasi lunari (sensibilmente) nei medesimi giorni degli anni rispettivi del ciclo.(1)

Posto ciò, bastava osservare per 19 anni consecutivi le fasi consecutive della Luna e notarle nei rispettivi calendarii; 19 di tali calendari costituivano un vero lunario perpetuo. Per conoscere le fasi in un anno qualunque, non ci voleva altro, che sapere, quanti cicli di diciannove anni erano decorsi dopo il primo (tipico), e quale numero del ciclo rimanente competeva all'anno in questione: insomma si dovea dividere il numero degli anni, trascorsi dal principio del I ciclo, per 19, e notare il resto. Il numero prezioso che indica questo resto fu chiamato **Numero d'oro** dell'anno rispettivo.(2) Era per sè cosa indifferente, quale anno si scegliesse come primo del ciclo. L'uso comune considera ora come tale l'anno 532 d. Cr. nel quale Dionigi il Piccolo (lat. Dionisius Exiguus) introdusse l'êra cristiana; conseguentemente anche l'anno 1 a. Cr. (dagli astronomi chiamato anno zero) forma il principio di un ciclo.(3) L'anno precedente cominciava con un novilunio al 1° gennaio.

(1) Questo ciclo è un poco differente da quello del Saros dei Caldei (n. 508).

(2) Si narra che i Greci radunati pei soliti festeggiamenti in Olimpia, dove Metone propose la sua scoperta, decretarono di perpetuarla con lettere d'oro sul tempio della Minerva.

(3) Ciò spiega perchè a trovare il numero d'oro di un anno qualunque (1904), si aggiunge un' unità (1904 + 1 = 1905), poi si divide la somma (1905) per 19; il resto (5), indica il numero d'oro dell' anno rispettivo. Un'antica regola dice:

Unum addes annis Domini, summamque novennis
Et denis tribues, numerus tibi aureus adsit.

Digitized by Google

564. — Notando l'**Età della Luna** [1] al principio dei singoli anni (1° gennaio), si ottiene la serie seguente:

Luna	XI	XXII	III	XIV	XXV	VI	XVII	XXVIII	IX	XX
Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Luna	I	XII	XXIII	IV	XV	XXVI	VII	XVIII	XXIX
Anno	11	12	13	14	15	16	17	18	19

I numeri romani della serie notano un costante aumento di 11; imperocchè 12 lunazioni, di 29 $\frac{1}{2}$ giorni ciascuna, danno 354 giorni, rimangono quindi $365 - 354 = 11$ giorni di resto, cosicchè l'anno seguente (primo del ciclo) comincia colla luna XI (e non con un novilunio); per simile ragione il terzo anno susseguente (2° del ciclo) comincia colla luna XXII. Il terzo del ciclo comincerebbe col numero $22 + 11 = 33$; cioè in 3 anni, oltre le $3 \times 12 = 36$ lunazioni, ne abbiamo una di più; in tutto 37 lunazioni. Si avranno quindi in 18 anni $6 \times 37 = 222$ lunazioni, rimanendo ancora un resto di 29 giorni per una 13ª lunazione dell'ultimo anno. Risulta quindi per 19 anni solari la somma totale di $222 + 13 = 235$ lunazioni, quale è appunto il numero delle lunazioni astronomiche nel ciclo metonico.

Le lunazioni si distinguono in lunazioni piene di 30 giorni, e lunazioni cave di 29 giorni; ogni anno ne conta alternativamente 6 piene e 6 cave. Le lunazioni intercalate tra i singoli anni, chiamate **lunazioni embolismiche**, [2] erano tutte piene, eccettuata l'ultima cava di 29 giorni.

Il ciclo lunare si compone quindi di:

19×6 lunazioni piene, che fanno	$19 \times 6 \times 30 = 19 \times 180 = 3420$ giorni
19×6 » cave, »	$19 \times 6 \times 29 = 19 \times 174 = 3306$ »
6 » embolismiche piene.	$6 \times 30 = 180$ »
1 lunazione embolismica cava di	29 »
le quali sommate insieme fanno	$19 \times 365 = 6935$ »

(1) Età della Luna nel linguaggio ecclesiastico significa la fase (ciclica) della Luna, cioè con I (Luna prima) si indica la fase del I giorno dopo il Novilunio, con II del II giorno e così via discorrendo. Si avverta però che per Novilunio qui non s'intende il momento della congiunzione (☽☌☉), ma la prima ricomparsa visibile della falce lunare dopo la congiunzione; quindi il Plenilunio (di che principalmente si cercava la determinazione) è identico colla Luna XIV.

(2) Ἐμβολισμός significa intercalazione. L'eccezione di una Luna embolismica cava suol chiamarsi anche Salto della Luna.

Digitized by Google

Siccome però l'anno solare ha circa 365 $\frac{1}{4}$ giorni, bisogna tener conto degli anni bisestili.

Ora supponendo 19 anni giuliani, ciascuno esattamente di $365^d,25$, si avrebbe la somma di giorni $6939^d,75$; l'eccesso di $4^d,75$ in 19 anni si correggeva da sè, inquantochè negli anni bisestili la lunazione di febbraio (colla ripetizione della stessa Luna per due giorni) ricevette 30 invece di 29 giorni. Siccome poi in 19 anni quattro volte ripetute, cioè in 76 anni, vi erano 19 anni bisestili ed anche $4 \times 4^d,75$ fa 19^d, il compenso era quasi perfetto; cosicchè una piccola differenza rimasta di $0^d,09$ tra la Luna ciclica ed astronomica, per lungo tempo rimase inavvertita. (1)

565. — Premesse queste spiegazioni, supponiamo un calendario, nel quale ciascun giorno abbia la sua Luna assegnata, cominciando con un novilunio (*) al 1° di gennaio, Luna I al 2, II al 3, ecc., alternando le lunazioni piene colle cave. Dovunque incontriamo XIV, sarebbe un plenilunio, se l'anno come il XIX del ciclo cominciasse realmente con un novilunio.

Finito però quest'anno, il seguente (col numero d'oro 1) comincierebbe colla Luna XI, a cagione del residuo di 11 giorni, rimasto dopo le 12 lunazioni, e il novilunio che cade in gennaio sarà 30 — 11 = 19 giorni dopo il 1, ossia al 20 del detto mese, cioè dove sta XIX. Gli altri novilunii si troveranno dovunque troviamo segnato il numero XIX. Per evitare quella sottrazione poco comoda, si sono messi i suddetti numeri delle varie fasi a rovescio dal 30 fino al 1° di gennaio. In questo modo il giorno 20 ha il numero XI, ed in questo modo dovunque troviamo XI nei vari mesi dell'anno vi sarà un novilunio. Al numero rispettivo di ciascun anno si è dato il nome di **Epatta**. Siccome poi al primo anno del ciclo lunare corrisponde l'Epatta XI, così al secondo XXII, al terzo III, ecc. Abbiamo così la semplicissima regola: Per conoscere i noviluni di un anno, si trova prima il suo Numero d'oro, poi l'Epatta corrispondente; dovunque questa trovasi notata

(1) Questa differenza accumulandosi, alla fine di 11 cicli, ossia di 209 anni, produrrebbe quasi un giorno intero. Essa è dovuta al fatto che 19 anni tropici non equivalgono esattamente a 235 lunazioni, ma a 235 lunazioni + 2 ore.

Digitized by Google

nel nostro calendario perpetuo, vi sarà un novilunio. (1)

566. — La precessione (degli equinozii) a cagione dell'eccesso dell'anno giuliano avea, al tempo del concilio di Nicea, ridotto l'equinozio di primavera al 21 di marzo. I padri del concilio volendo conservarlo in quel giorno (n. 552) e volendo allo stesso tempo ottenere uniformità nella celebrazione della Pasqua in tutta la Chiesa, confermarono la regola già stabilita, o piuttosto inculcata dai sommi pontefici (Pio, Aniceto, Eleuterio e Vittore), che la Pasqua si celebrasse la domenica che segue il plenilunio di primavera. Con ciò la Pasqua dovea necessariamente celebrarsi, nè prima del 22 di marzo, nè dopo il 25 aprile. (2) Del resto si vede, che per mezzo del calendario perpetuo (coll'aiuto delle lettere domenicali, del numero d'oro e delle epatte), la determinazione della Pasqua, per un anno qualunque, è diventata oramai una cosa abbastanza facile.

567. — Il metodo delle **Epatte** fu introdotto colla riforma del calendario da Gregorio XIII. Prima di questo tempo poteva bastare il numero d'oro. Se perciò il calendario del tempo anteriore fu più semplice, allo stesso tempo fu anche meno esatto. Il « **calendario perpetuo** » è frutto della riforma. Il sistema, esposto finora, dovette subire alcune modificazioni a cagione dell'omissione di 10 giorni (nel 1582) e dei bisestili, omessi negli anni secolari non divisibili per 4, come 1700, 1800, 1900 (n. 555). Perciò nell'introduzione del Breviario Romano, dove trattasi del calendario [De anno et eius partibus], vi sono varie *tabelle delle Epatte* per periodi determinati. Così dal 1582 (col num. d'oro 6) fino al 1700 (esclusivamente) vale la tabella:

Epatta	XXVI	VII	XVIII	XXIX	X	XXI	II	XIII	XXIV	V
Num. d'oro .	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Epatta	XVI	XXVII	VIII	XIX	I	XII	XXIII	IV	XV	
Num. d'oro .	16	17	18	19	1	2	3	4	5	

(1) La regola è stata modificata dalla riforma di Gregorio, come vedesi dai paragrafi che seguono.

(2) Se il Plenilunio cade nello stesso 21 di marzo, e questo è inoltre un sabato, si può celebrare la Pasqua il giorno dopo, cioè il 22; se invece un Plenilunio accade al 20 di marzo il Plenilunio seguente avrà la

Digitized by Google

Dal 1700 (incl.) all 1900 (escl.): [1]

Epatta.....	IX	XX	I	XII	XXIII	IV	XV	XVI	VII	XVIII
Num. d'oro..	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Epatta.....	*	XI	XXII	III	XIV	XXV	VI	XVII	XXVIII	
Num. d'oro..	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Dal 1900 al 2200:

Epatta.....	XXIX	X	XXI	II	XIII	XXIV	V	XVI	XXVII	VIII
Num. d'oro..	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Epatta.....	XIX	*	XI	XXII	III	XIV	25	VI	XVII	
Num. d'oro..	11	12	13	14	15	16	17	18	19	

568. — Volendo, per es., ordinare le feste mobili del 1904, del quale già abbiamo trovato (n. 560) le lettere domenicali *c b*, ed il numero d'oro 5, avremo dall'ultima tavola l'Epatta XIII. Questa ci fa trovare nel Calendario (pag. 522) il novilunio di marzo al giorno 18 di detto mese, il plenilunio pasquale (18 + 13 = 31) al giorno 31, la domenica seguente (colla lettera *b*) è 3 aprile; dunque Pasqua si celebra in questo giorno. Settuagesima, che precede la domenica pasquale di 9 settimane, sarà il 31 gennaio;[2] il mercoledì delle ceneri (2 ½ settimane dopo settuagesima) nel 17 febbraio; la festa dell'ascensione (giovedì della VI settimana dopo Pasqua) il 12 maggio; Pentecoste (7 settim. dopo Pasqua) il 22 maggio; il Corpus Domini (giovedì della II settimana dopo Pentecoste) nel 2 giugno. La prima Domenica d'Avvento cadrà nel 27 nov., essendo questa la domenica più vicina al giorno 30 nov. (n. 563); vi saranno quindi 26 settimane dopo Pentecoste.

sua massima distanza dal 21 di marzo, cadendo nel 18 aprile; per rendere più tardi ancora, quanto sia possibile, la celebrazione della Pasqua, questo giorno dovrebbe essere una domenica; perchè allora la domenica pasquale sarebbe sette giorni dopo, 25 aprile.

(1) Nel Martirologio Romano invece delle cifre delle Epatte si trovano lettere per indicare le Luna rispettiva di ciascun giorno. Il segno * «Luna silens» si adopera invece di XXX, per indicare il Novilunio. Tavole complete per tutti i tempi si trovano nelle varie opere che trattano di cronologia, tra le quali merita di essere citata quella del p. J. P. Escoffier S. J. *Calendrier perpétuel.* Paris, Bruxelles, 1880.

(2) Il nome Settuagesima (secondo alcuni autori) indica l'intervallo di 70 giorni tra questa domenica e quella *in albis* (ottava di Pasqua).

Digitized by Google

569. — Calendario perpetuo delle Epatte e Lettere domenicali.

Giorni	GENNAIO		FEBBRAIO		MARZO		APRILE		MAGGIO		GIUGNO	
	Domen.	Epatta	Domen.	Epatta	Domen.	Epatta	Domen.	Epatta	Domen.	Epatta	Domen.	Epatta
1	A	*	d	XXIX	d	*	g	XXIX	b	XVIII	e	XXVII
2	b	XXIX	e	XXVIII	e	XXIX	A	XXVIII	c	XXVII	f	25.XXVI
3	c	XXVIII	f	XXVII	f	XXVIII	b	XXVII	d	XXVI	g	XXV.XXIV
4	d	XXVII	g	25.XXVI	g	XXVII	c	25.XXVI	e	25.XXVI	A	XXIII
5	e	XXVI	A	XXV.XXIV	A	XXVI	d	XXV.XXIV	f	XXIV	b	XXII
6	f	25.XXV	b	XXIII	b	25.XXV	e	XXIII	g	XXIII	c	XXI
7	g	XXIV	c	XXII	c	XXIV	f	XXII	A	XXII	d	XX
8	A	XXIII	d	XXI	d	XXIII	g	XXI	b	XXI	e	XIX
9	b	XXII	e	XX	e	XXII	A	XX	c	XX	f	XVIII
10	c	XXI	f	XIX	f	XXI	b	XIX	d	XIX	g	XVII
11	d	XX	g	XVIII	g	XX	c	XVIII	e	XVIII	A	XVI
12	e	XIX	A	XVII	A	XIX	d	XVII	f	XVII	b	XV
13	f	XVIII	b	XVI	b	XVIII	e	XVI	g	XVI	c	XIV
14	g	XVII	c	XV	c	XVII	f	XV	A	XV	d	XIII
15	A	XVI	d	XIV	d	XVI	g	XIV	b	XIV	e	XII
16	b	XV	e	XIII	e	XV	A	XIII	c	XIII	f	XI
17	c	XIV	f	XII	f	XIV	b	XII	d	XII	g	X
18	d	XIII	g	XI	g	XIII	c	XI	e	XI	A	IX
19	e	XII	A	X	A	XII	d	X	f	X	b	VIII
20	f	XI	b	IX	b	XI	e	IX	g	IX	c	VII
21	g	X	c	VIII	c	X	f	VIII	A	VIII	d	VI
22	A	IX	d	VII	d	IX	g	VII	b	VII	e	V
23	b	VIII	e	VI	e	VIII	A	VI	c	VI	f	IV
24	c	VII	f	V	f	VII	b	V	d	V	g	III
25	d	VI	g	IV	g	VI	c	IV	e	IV	A	II
26	e	V	A	III	A	V	d	III	f	III	b	I
27	f	IV	b	II	b	IV	e	II	g	II	c	*
28	g	III	c	I	c	III	f	I	A	I	d	XXIX
29	A	II			d	II	g	*	b	*	e	XXVIII
30	b	I			e	I	A	XXIX	c	XXIX	f	XXVII
31	c	*			f	*			d	XXVIII		

Digitized by Google

569. — Calendario perpetuo delle Epatte e Lettere domenicali.

Giorni	LUGLIO		AGOSTO		SETTEMBRE		OTTOBRE		NOVEMBRE		DICEMBRE	
	Domen.	Epatta	Domen.	Epatta	Domen.	Epatta	Domen.	Epatta	Domen.	Epatta	Domen.	Epatta
1	g	XXVI	c	XXV.XXIV	f	XXIII	A	XXII	d	XXI	f	XX
2	A	XXV	d	XXIII	g	XXII	b	XXI	e	XX	g	XIX
3	b	XXIV	e	XXII	A	XXI	c	XX	f	XIX	A	XVIII
4	c	XXIII	f	XXI	b	XX	d	XIX	g	XVIII	b	XVII
5	d	XXII	g	XX	c	XIX	e	XVIII	A	XVII	c	XVI
6	e	XXI	A	XIX	d	XVIII	f	XVII	b	XVI	d	XV
7	f	XX	b	XVIII	e	XVII	g	XVI	c	XV	e	XIV
8	g	XIX	c	XVII	f	XVI	A	XV	d	XIV	f	XIII
9	A	XVIII	d	XVI	g	XV	b	XIV	e	XIII	g	XII
10	b	XVII	e	XV	A	XIV	c	XIII	f	XII	A	XI
11	c	XVI	f	XIV	b	XIII	d	XII	g	XI	b	X
12	d	XV	g	XIII	c	XII	e	XI	A	X	c	IX
13	e	XIV	A	XII	d	XI	f	X	b	IX	d	VIII
14	f	XIII	b	XI	e	X	g	IX	c	VIII	e	VII
15	g	XII	c	X	f	IX	A	VIII	d	VII	f	VI
16	A	XI	d	IX	g	VIII	b	VII	e	VI	g	V
17	b	X	e	VIII	A	VII	c	VI	f	V	A	IV
18	c	IX	f	VII	b	VI	d	V	g	IV	b	III
19	d	VIII	g	VI	c	V	e	IV	A	III	c	II
20	e	VII	A	V	d	IV	f	III	b	II	d	I
21	f	VI	b	IV	e	III	g	II	c	I	e	*
22	g	V	c	III	f	II	A	I	d	*	f	XXIX
23	A	IV	d	II	g	I	b	*	e	XXIX	g	XXVIII
24	b	III	e	I	A	*	c	XXIX	f	XXVIII	A	XXVII
25	c	II	f	*	b	XXIX	d	XXVIII	g	XXVII	b	XXVI
26	d	I	g	XXIX	c	XXVIII	e	XXVII	A	25.XXVI	c	25.XXV
27	e	*	A	XXVIII	d	XXVII	f	XXVI	b	XXV.XXIV	d	XXIV
28	f	XXIX	b	XXVII	e	25.XXVI	g	25.XXV	c	XXIII	e	XXIII
29	g	XXVIII	c	XXVI	f	XXV.XXIV	A	XXIV	d	XXII	f	XXII
30	A	XXVII	d	XXV	g	XXIII	b	XXIII	e	XXI	g	XXI
31	b	25.XXVI	e	XXIV			c	XXII			A	19.XX

Digitized by Google

570. — Le Epatte, come si è detto (n. 563), alla fine di 200 anni incirca produrrebbero un errore di un giorno intero. Questo disaccordo tra la luna ciclica ed astronomica è stato pressochè eliminato col sistema riformato, il quale in ogni anno secolare non bisestile (1700, 1800, 1900), cioè 3 volte in 400 anni, diminuisce l'epatta di un'unità. Questa correzione, chiamata **equazione solare** (μετεμπτωσις), sarebbe troppo forte, se non venisse compensata dall'aumento di una unità ogni terzo secolo (1500, 1800, 2100 . . .); la quale correzione supplementare chiamasi **equazione lunare** (προεμτωσις). In questo modo, alla fine di 12 secoli, l' Epatta fa un regresso di 5 unità, il quale equivale al richiesto regresso di 0,83 giorni in 200 anni. Insomma la riforma gregoriana, fatta con saviezza, competenza e circospezione, ancora oggi rimane preferibile a tante altre riforme nuovamente proposte. (1)

COROLLARIO I. — PRETESA PERFETTIBILITÀ DEL CALENDARIO.

571. — Il Calendario Gregoriano, ad onta dei perfezionamenti introdotti, perchè proposto dall'autorità del romano pontefice, (2) incontrò grande resistenza da parte degli eterodossi. Il tempo ha in gran parte sanato questi pregiudizi,

(1) Nel calendario perpetuo (pag. 522 e 523) si trovano nei giorni (5 febbraio, 5 aprile, 3 giugno, 1° agosto, 29 settembre, 27 novembre) ascritti due numeri delle Epatte XXV, XXIV), per servare i 6 mesi cavi, senza omissione di uno dei soliti numeri da I a *. Cosa che portava poi seco l'altra necessità di ascrivere accanto al precedente XXVI un 25, corrispondente al XXV (25) di gennaio ecc., affinchè la stessa Luna non venisse all'identico giorno entro il medesimo ciclo lunare. Il 19, che trovasi accanto al XX nell' ultimo giorno di dicembre, serve soltanto, quando l'epatta XIX coincide col numero d'oro 19, cosa che non accade mai tra il 1690 e 8500. Per ulteriori spiegazioni vedi l'opera del CLAVIO intitolata *Novi Calendarii Romani apologia*. Romae, 1588.

(2) Uno dei molti meriti del grande Keplero si è di avere energicamente combattuto molti pregiudizi de' suoi correligionari protestanti: «Iam ab annis 150 flagitarunt astronomi, ipse etiam Lutherus auctoritatem politicam ad correctionem hanc. Multi multos descripserunt modos; nescio an quisquam meliorem atque is ipse est, quem Papa instituit; quis porro meliorem (qui inveniri fortasse facile potest) audebit magistratui proponere? Iam enim una correctio facta est: alteram in exigua parte Europae nemo facile et sine turbis introducet». Queste gravi parole valgono ancora oggi, dopochè il calendario gregoriano è stato quasi universalmente accettato. Cf. la nostra opera (cit. n. 368), cap. IV.

Digitized by Google

cosicchè (se si eccettui la Russia, e con essa la Chiesa greca scismatica), il Calendario Gregoriano è oramai adottato universalmente in tutto il mondo civilizzato. Ciononostante di tempo in tempo si sentono delle voci, anche di astronomi, i quali, per iscusare quella continuata resistenza, adducono gli **incomodi**, cagionati dal calendario gregoriano. E prima di tutto si vuole addurre contro di esso, che l'anno solare adottato ($365^{d},2425$) è troppo grande, perchè dovrebbe essere di giorni $365^{d},24199$ soltanto; la differenza però è tanto piccola, che ci vogliono 3333 anni, prima che la somma delle differenze annue faccia un giorno intero. Diceva bene il padre Clavio (op. cit. c. VIII, 5), che considerando l'incertezza delle ultime cifre decimali, si poteva tranquillamente lasciare la correzione di un tale difetto ai posteri.

572. — Altri vedono in quel complicato sistema di epatte, numeri d'oro e lettere domenicali un **ingombro superfluo**; ad essi sembrerebbe molto migliore la determinazione astronomica della luna pasquale, e ciò tanto più, perchè la differenza tra questa e la luna media o ciclica, ammonta talvolta a giorni interi, cosicchè la Pasqua ne viene spostata considerevolmente a pregiudizio della legge tradizionale della sua celebrazione. (1) Non neghiamo, che oramai colle tavole lunari tanto perfezionate, sarebbe cosa abbastanza facile determinare i giorni pasquali in questo modo per un tempo qualsiasi; basterebbe poi pubblicare una lista ufficiale ed autentica delle date così ottenute. Però un vantaggio pratico, a giustificare una cosiffatta innovazione, appena si vede. Lo scopo principale dell'autorità ecclesiastica nel fissare le regole per la celebrazione della festa pasquale è stato sempre, fino dai tempi apostolici, di ottenere l'uniformità (nella data) in tutta la

(1) Un esempio di ciò abbiamo avuto nel 1876, nel quale, secondo l'Epatta IV, il novilunio (pasquale) accadeva il 29 marzo, il plenilunio pasquale, 11 aprile. Questo giorno (colla lettera *c*) era un martedì; conseguentemente la domenica pasquale cadeva nel 16 aprile. Il plenilunio osservato (astronomico) invece accadde già il giorno 8 aprile, cioè sabato sera, verso le $8^{h}\ 39^{m}$ (tempo medio Eur. centr.); quindi la Pasqua astronomicamente determinata sarebbe caduta nella domenica 9 aprile precedente. Si noti però che a quell'ora del plenilunio astronomico in altre parti del mondo (Indie orientali, Cina, Australia) era già cominciata la domenica (9 aprile).

Digitized by Google

Chiesa. Il computo lunare è una cosa secondaria; rispetto alla quale l'approssimazione ottenuta è più che sufficiente.

In quanto alle accennate **divergenze** della Luna media ciclica colla vera (astronomicamente osservata) è da avvertire, che queste furono ben note agli autori della riforma gregoriana. Basterebbe a ciò citare le parole del P. Clavio (op. cit., p. 32 sgg.), il quale dice e ripete, che la Chiesa colla sua riforma del calendario non volle altro, che assicurare due cose: 1° che l'equinozio di primavera rimanesse (più o meno) fissato al giorno 21 di marzo; 2° che nella determinazione della festa pasquale fosse ritenuta la regola tradizionale del computo lunare, senza però pretendere in ciò una precisione astronomica e quasi assoluta. (1) Ora questi fini si sono mirabilmente ottenuti col sistema introdotto da Gregorio; dunque della necessità, oppure della convenienza di una nuova riforma, non si vede veruna ragione sufficiente.

Il sistema delle Epatte, ecc. sembra complicato solamente a quegli, i quali senza uno studio accurato ne vorrebbero capire l'intima struttura e controllarne l'esattezza; (2) nell'applicazione pratica invece esso è semplicissimo.

573. — Un'ultima ragione, mossa ai tempi nostri in favore d'una nuova riforma, asserisce, che il calendario gregoriano, conservando tutto il suo merito pel passato, sia meno opportuno riguardo ai **bisogni moderni**. Astraendo del tutto dalle ragioni di natura ecclesiastica, si parla di certi inconvenienti, cagionati dalla grande mobilità della Pasqua (n. 566). Le tradizionali vacanze, connesse colla massima festa della cristianità, dividono con ciò l'anno (parlamentare, commerciale, scolastico, ecc.) in parti molto disuguali, e ciò differentemente da un anno all'altro. Ora tutti questi inconvenienti sparirebbero (dicesi), se l'autorità ecclesiastica trovasse il modo di rendersi, nella determinazione della Pasqua, del tutto indipendente dal computo lunare,

(1) La Chiesa si contenta di un computo medio, il quale però allo stesso tempo è un'approssimazione ammirabile al vero. Chi impugna un tal metodo, dovrebbe ugualmente contrariare il tempo medio, e molto più quello di un meridiano particolare (dell'Europa centrale, ecc.).

(2) Tali giudici sarebbero molto meno in grado, di controllare l'esattezza delle tavole lunari, le quali suppongono tutta la teoria (assai complicata) dei movimenti della Luna.

Digitized by Google

e assegnasse in accordo coi governi civili per la festa, una volta per sempre, una certa domenica dell'anno, per es., la prima (seconda o terza) di aprile. (1) A noi basta di avere accennata la cosa; del resto, senza entrare qui in una discussione delle ragioni addotte, ognuno vede da sè, che un cambiamento così radicale, se anche la Chiesa cattolica potesse e volesse adottarlo, dalla parte delle Chiese dissidenti incontrerebbe probabilmente una resistenza molto maggiore, che non ha incontrato la riforma gregoriana, oramai vigente non solamente in tutto l'orbe cattolico, ma (con poche eccezioni) in tutto il mondo civilizzato. (2)

Corollario II. — Cambiamento della data.

574. — Il calendario romano, per opera dei viaggiatori si diffuse sopra tutto il globo terrestre, tanto verso l'Oriente, quanto verso l'Occidente. I navigatori ed esploratori europei, partiti in direzione contraria, incontrandosi finalmente dall'altra parte del globo, trovarono, che la data del loro calendario differiva di un giorno intero. Mentre, per es., gli uni, navigando verso est, avevano mercoledì 21 di marzo, gli altri, navigando verso ovest, avevano invece martedì 20 di marzo. Difatti quando un viaggiatore passa da un meridiano qualunque ad un altro 15° distante dal primo, l'orologio che porta seco mostrerà un'anticipazione ovvero un ritardo di un'ora sul

(1) Assegnando p. es. la XIV domenica dell'anno per domenica pasquale, la IV sarebbe Settuagesima, la XXI Pentecoste; così la Pasqua cadrebbe sempre tra 1 e 8 di aprile, Settuagesima tra 22 e 28 di gennaio, Pentecoste tra 20 e 27 di maggio.

(2) Meno importante per il foro ecclesiastico sarebbe un cambiamento del numero dei giorni dei singoli mesi. Il sistema ora in uso, che distribuisce questi periodi in gruppi di 28, 30 e 31 giorni, infatti non può dirsi troppo ragionevole, quantunque vi sia la spiegazione storica (n. 547 sgg.). A molti piacerebbero meglio dei gruppi di 4 e 5 settimane intere, ossia di 28 e 35 giorni. Con 13 mesi di 28 giorni, ovvero con 8 di 28 e 4 di 35 giorni, si otterrebbe la somma di 364 giorni; il residuo rimanente di uno o due giorni potrebbe appendersi alla fine dell'anno. In un tal sistema le domeniche di tutti i mesi di un anno particolare (1900) si troverebbero alla stessa data (7, 14, 21, 28, 35) di ogni mese, senza che la successione continuata dei giorni della settimana, da un anno all'altro, ne soffrisse interruzione.

Digitized by Google

tempo locale, secondochè il viaggio è stato fatto verso ovest, ovvero verso est; non importa quanto tempo abbia impiegato pel suo viaggio. Così in un luogo situato 90° verso ovest da Greenwich, il tempo locale è uguale a quello di Greenwich meno sei ore, 90° verso est invece, uguale al tempo di Greenwich più sei ore. Conseguentemente se a Greenwich è mezzogiorno, per es.,

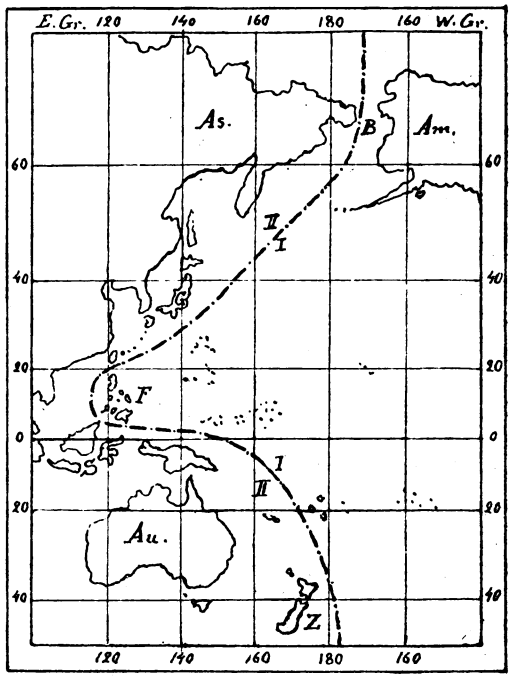


Fig. 274.

di domenica, a Calcutta (Indie orientali) saranno le sei della sera (di domenica), a Nuova Orleans (all'imboccatura del Mississipì) saranno le sei della mattina. Sul meridiano 180° distante da Greenwich sarà conseguentemente mezzanotte, ma con questa differenza, che quelli che contano da Calcutta verso est diranno, che è la mezzanotte tra domenica e lunedì, per es., tra l'8 ed il 9 dicembre, mentre quelli che si regolano coll'America diranno, che è mezzanotte tra sabato e domenica tra il 7 e l'8 dicembre. Un viaggiatore proveniente da Greenwich, viaggiando

Digitized by Google

per l' Asia, arrivando allo stretto di Bering (B) (Fig. 274) tra l'Asia e l'America del Nord, in apparenza ha perduto un mezzo giorno di tempo, mentre un altro, viaggiando per l'America, ha guadagnato un mezzo giorno. Insomma vi deve essere un meridiano sulla terra, dove quelli che abitano verso est, contano 24 ore di meno in confronto di quelli, che abitano dalla parte di ovest; i viaggiatori attraversando questo meridiano devono **cambiare la data**, sottraendo un giorno ossia 24 ore, se vanno verso est, aggiungendone uno, se vanno verso ovest.

575. — Tutto ciò spiega l'origine dell'**antica linea limitatrice** delle date diverse, punteggiata nella figura (274). Passando per lo stretto di Bering (B) tra l'America (Am), e l'Asia (As), e seguendo le coste orientali del Giappone (G), dell'Australia (Au) e della Nuova Zelanda (Z), essa descrive un arco intorno alle isole Filippine, passando per lo stretto tra queste e le isole della Sunda (S). La ragione di questo giro curioso si è, perchè le isole Filippine furono scoperte dal Magalhaens, il quale era riuscito a passare per lo stretto dell'America del Sud, che porta il suo nome, e di arrivare per questa nuova via a quelle plaghe di un mondo nuovo. (1) I navigatori però considerano oggidì come limite il meridiano distante 180° da quello di Greenwich, il quale, trovandosi quasi interamente nel mare, fa meno sentire l'inconvenienza di un simile salto. Attraversandolo da est verso ovest, essi aumentano i loro computi di 24 ore, andando in direzione contraria, li diminuiscono di altrettanto. (2)

(1) Dal 1844 le Filippine cominciarono a conformarsi all'uso delle isole vicine, Borneo, Giava, Sumatra. Invece le terre americane appartenenti alla Russia, le quali prima fecero i loro computi con questa, dal 1867 si conformarono alla data dell'America.

(2) A cagione di questo limite della data, la festa pasquale (come tutte le altre) dura sulla terra almeno per lo spazio di due volte 24 ore. Diciamo almeno, perchè a cagione della curva descritta dalla linea terminatrice, l'intervallo può crescere ancora di più. Mentre p. es. verso Ovest dal meridiano limite si finisce la festa pasquale, verso Est si comincia la medesima. Gli abitanti verso Ovest hanno quindi celebrata la festa per 24 ore, quelli verso Est la celebreranno ancora per 24 ore. Ciò dimostra di nuovo, che non si può pretendere un'uniformità assoluta e quasi matematica in queste cose. Può così accadere benissimo l'apparente paradosso, che un telegramma, mandato da una stazione all'altra, arrivi 24 ore prima della partenza. La facilità delle comunicazioni moderne mette più in evidenza simili casi.

Digitized by Google

COROLLARIO III. — EPOCHE CRONOLOGIGHE.

576. — Un punto fisso tra gli avvenimenti storici, dal quale si comincia o si può cominciare a contare gli anni, suole chiamarsi EPOCA (ἐποχή), ovvero ERA.[1] Benchè sia per sè indifferente, qual punto si scelga a ciò, nondimeno ordinariamente si preferisce un avvenimento celebre, quale è per tutto il mondo (cristiano) la nascita di Gesù Cristo, principio dell'**Era cristiana**, ora universalmente adottata, e perciò anche semplicemente chiamata Era volgare. Gli Ebrei contavano i loro anni dalla creazione del mondo (3761 av. Cr.), gli antichi Greci da una insigne vittoria di Corebo nei giuochi Olimpici (776 av. Cr.), i Romani (secondo Varrone) dalla fondazione di Roma (753 av. Cr.), i Caldei dal regno di Nabonassare in Babilonia (747 av. Cr.), ecc. Altre Ere, usate dagli storici, sono quelle di Alessandro Magno (323 av. Cr.), dei Seleucidi (312 av. Cr.), l'èra Giuliana (di Giulio Cesare, 45 av. Cr.), l'èra Diocleziana, detta anche dei Martiri (284 d. Cr.), l'èra maomettana, chiamata ordinariamente l'Egira (622 d. Cr.) ecc.[2]

577. — Nei computi astronomici è cosa per sè indifferente, quale di queste Ere si voglia adoperare, per segnalare un avvenimento astronomico.[3] Per evitare tutti gli equivoci, che potrebbero nascere dal contare gli anni prima e dopo un dato avvenimento, gli astronomi fanno spesse volte uso del cosidetto periodo Giuliano,[4] inventato da Giuseppe Scaligero

(1) « Aera (dice S. Isidoro) singulorum annorum constituta est a Caesare Augusto, quando primum censum exegit. Dicta autem aera ex eo, quod omnis aes reddere professus est rei publicae » (5 Orig. 36).

(2) *Egira* (parola araba) significa *fuga*, perchè in quell'anno cadde la fuga di Maometto. Si noti però, che delle varie ère citate non tutti gli autori assegnano lo stesso anno come punto di partenza.

(3) Di un senso più limitato della parola *epoca* presso gli astronomi, vedi n. 459; parlando cioè degli elementi di un'orbita di un corpo celeste, chiamano epoca il momento nel quale l'astro avea una posizione definita, si trovò p. es. al perielio.

(4) Con questo nome scelto dallo stesso Scaliger (Opus de emendatione temporum, Colon. 1629) sembra l'autore aver voluto indicare che egli contava gli anni secondo il Calendario Giuliano (di 365 ¼ giorni). Nel confronto con altri anni sarà necessario tener conto anche dei vari modi di principiare l'anno stesso.

Digitized by Google

(1583 d. Cr.); moltiplicando cioè il numero dei 28 anni del ciclo solare (n. 561) pel numero 19 del ciclo lunare (n. 563) e pel numero 15 del ciclo dell'Indizione Romana, [1] si ottiene come risultato $28 \times 19 \times 15 = 7980$. Come principio di tal periodo di 7980 anni si considera l'anno, quando tutti questi cicli ebbero il numero 1, cioè 4713 av. Cr.; questo finirà quindi coll'anno 3267 d. Cr.

578. — L'ampiezza del periodo, ben determinato, lo rende molto adattato come termine di confronto delle varie epoche ed ère; bisogna però tener conto del vario modo di contare dei cronologisti e degli astronomi. I primi, per es., nei computi retrogradi sogliono passare dall'anno 1 dopo Cristo immediatamente all'anno 1 prima di Cristo. Un tale passaggio pecca contro la legge aritmetica, la quale tra i numeri positivi e negativi frappone lo zero: — 2, — 1, 0, + 1 + 2 ecc. I cronologisti insomma considerano il numero degli anni come numero ordinale: primo, secondo ecc.; gli astronomi invece come numero cardinale: uno, due. Nel primo senso si parla dell'anno primo, dal principio fino alla fine del medesimo (tanto nel computo positivo, quanto nel negativo); nel secondo senso si dice ± 1 quando il primo anno è compiuto; se dell'uno o dell'altro si hanno soltanto alcuni (6) mesi, si direbbe anno $0 \pm \frac{1}{2}$. Questo vario modo di vedere suole cagionare al principio di un nuovo secolo la questione, quale anno debba considerarsi come il primo del secolo, per esempio, 1900 ovvero 1901. Aritmeticamente il secondo modo di contare è senza dubbio preferibile. [2]

(1) Questo ciclo non ha nessun rapporto col corso degli astri. L'origine dello stesso nome è incerta; indicava (al tempo dell'imperatore Costantino la proroga accordata dai tribunali. Anche i Papi solevano adoperarlo nelle loro bolle. Secondo i cronologisti all'anno 1 d. Cr. compete il numero 4 del ciclo; quindi per trovarlo per un altro anno qualunque dell'èra volgare (1904) si aggiunge 3 e si divide la somma per 15: (1907 : 15 = 127 $^{2}/_{15}$). Il resto (2) indica il numero cercato. Così, per trovare i numeri rispettivi del ciclo solare, lunare e dell'indizione, basterebbe pure aggiungere all'anno in questione 4713 e dividere la somma per i numeri rispettivi 28, 19, 15.

(2) Si veda intorno a ciò un nostro articolo, pubblicato nella Civiltà cattolica (serie 17, vol. 5, quad. 1168 dell'11 febbraio 1899). Nelle varie citazioni cronologiche di quest'opera seguiamo l'uso comune dei cronologisti, se non avvertiamo espressamente il contrario.

Digitized by Google

Avremo quindi secondo i varii modi

	Av. Cristo				Dopo Cristo			
Cronologicamente	IV	III	II	I	I	II	III	IV
Astron. o aritm.	— 3	— 2	— 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4
Periodo giuliano	4710	4711	4712	4713	4714	4715	4716	4717

579. — Del resto è noto, che l'èra cristiana (volgare) fu introdotta soltanto nel secolo VI della medesima, dal celebre abbate Dionigi il Piccolo (**Dionysius Exiguus**), e ciò ad un tempo quando molti cristiani cominciavano il nuovo anno dall'incarnazione del Signore (25 di marzo). Dionigi scelse come principio dell'èra (1 d. Cr.) l'anno 754 di Roma, nel quale quel giorno era un venerdì. Più tardi, invece dell'incarnazione, si sostituì la nascita di Nostro Signore come principio dell'anno. Del resto la questione dell'anno preciso della nascita di Gesù Cristo, se sia stata ben precisata dal prefato Dionigi, è una questione piuttosto storica, nella quale l'astronomia entra soltanto, in quanto alcuni storici parlano di certe eclissi, mediante le quali si sperava di poter rischiarire la cosa abbastanza controversa. A noi qui deve bastare di aver esposto i principii astronomici, che servono alla risoluzione di simili problemi.

580. — Le molte notizie intorno a varie **eclissi solari e lunari**, che si trovano sparse qua e là nelle cronache dei diversi popoli, comparate con altre notizie contemporanee, sono senza dubbio il mezzo più sicuro, per accertare un anno determinato di un'epoca qualunque; dall'altra parte però le eclissi sono così numerose, che la sola relazione del fatto ordinariamente non basta, per identificarlo e distinguerlo da altri simili.[1] Del resto gli astronomi coi calcoli fatti di tutte le

(1) Flavio Iosefo († 95 d. C.) ricorda un eclisse lunare (Antiq. lib. 17, cap. 6, n. 4) avvenuta quando Erode (l'uccisore degli innocenti) poco prima della sua morte fece bruciare vivi nell'ippodromo di Gerico (?) il pontefice degli Ebrei, Mattia, con alcuni compagni, accusati di ribellione. Secondo Keplero l'eclisse sarebbe stata quella (parziale) del 13 marzo dell'anno 750 di Roma (4 a. C.), che precedette la Pasqua celebrata nel medesimo anno il giorno 11 aprile (Kepl. op. omnia IV, 239). Se ciò fosse certo, proverebbe che la nascita di Gesù Cristo fosse avvenuta qualche

Digitized by Google

eclissi dei tempi storici, hanno fornito da parte loro tutto quello che poteva desiderarsi dagli storici in questo genere di ricerche. (1)

anno prima dell'anno 1 dell'èra volgare. Altri però mantengono che l'eclisse accennata sia quella parziale della notte tra il 29 e 30 dicembre dell'anno 1 a. C. (o astron.). Altri non vorrebbero prestar troppa fede alla narrazione di Iosefo, che « in quella notte la Luna si eclissò », vedendo in ciò una figura rettorica, per esagerare l'orrore che ispirò questo truce fatto. Insomma, la cosa rimane molto controversa a cagione di altre circostanze storiche. Del resto è da notarsi che tra le due eclissi lunari anzidette ve n'erano cinque altre, tra le quali due totali (9 gennaio e 8 luglio dell'anno astron. 0, cronol. 1 a. C.).

Le eclissi solari, delle quali parlano gli storici antichi, sono quella di Talete (585 a. C.) durante la guerra tra i Medi e Lidii; quella di Larissa (557 a. C.), mentre i Persiani assediavano questa città; l'eclisse di Eunio (400 a. C.) della quale parla Cicerone; quella di Alessandria (365 a. C.), menzionata nei commentari di Teone e di Agatocle (310 a. C.).

(1) Gli autori che si possono utilmente consultare in queste ricerche sono: PINGRÉ A. G. Chronologie des éclipses de Soleil et de Lune (depuis l'origine de notre ère jusqu'en 1900)... continué jusqu'à l'an 2000 par C. Duvancel, 3e édition, 1783-87; Chronologie des éclipses etc. durant les dix siècles qui ont précédé l'ère chrétienne, Paris, 1787. – OPPOLZER TH. Canon der Finsternisse, Wien, 1887. In quest'opera si trovano registrate tutte le 8000 eclissi solari dall'anno 1208 a. C. all'anno 2161 d. C. come pure le 5200 eclissi di Luna dall'anno 1207 a. C. al 2163 d. C. Le eclissi del Sole sono illustrate da 160 proiezioni della Terra, sulle quali si vedono delineate le curve centrali delle singole eclissi, cosicchè una semplice ispezione della carta insegna l'anno ed il giorno dell'avvenimento, la fase centrale (totale, anulare), come anche i punti dove comincia e dove termina l'eclisse sulla Terra. Diamo come saggio (a scala ridotta) l'iconografia (Fig. 275) delle eclissi dal 1900 al 1920.

Le varie curve indicano:

————	eclisse	totale
- - - - - -		anulare
. . . . .		anulare totale

▶ principio dell'eclisse
O punto di mezzogiorno
● fine dell'eclisse
il primo numero 01 ecc. significa l'anno 1901, ecc.
il secondo I, II, ecc. il mese gennaio, febbraio, ecc.
il terzo, 1, 2, ecc. il giorno del mese.

Così p. es. una curva colle indicazioni 05, VIII, 30, mostra l'andamento di un'eclisse totale del giorno 30 agosto 1905, visibile nell'America del Nord, in Ispagna, Sicilia, ecc.

Digitized by Google

Concludiamo con uno specchietto dei varii numeri ciclici e cronologici di un anno determinato:

ANNO BISESTILE 1904.

Numero d'oro	5	Lettera domenicale . . .	*c b*
Epatta	XIII	Indizione romana	2
Ciclo solare	9	Anno del periodo giuliano .	6617

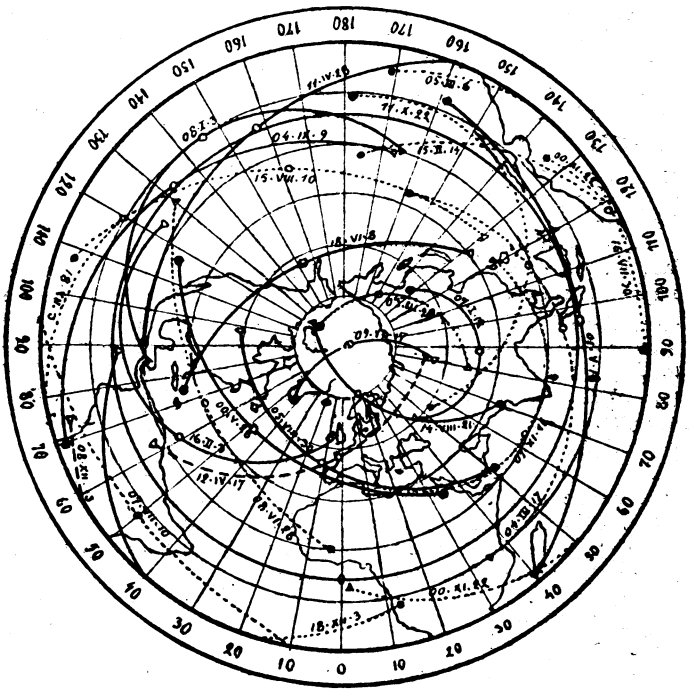


Fig. 275. Eclissi del sole dal 1900 al 1920.

Digitized by Google

PARTE QUARTA

ORBITE VARIE DEI CORPI CELESTI

CAPITOLO I.

VARIE SPECIE DI ORBITE.

581. — Tutti i corpi celesti, dei quali l'osservazione ha potuto costatare moti proprii, soggiacciono alla legge della gravitazione universale; cioè l'attrazione scambievole dei medesimi è direttamente proporzionale alle loro masse ed inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza (n. 401). La meccanica dimostra, che un punto materiale, costretto a muoversi intorno ad un centro fisso di tale attrazione, descriverà una delle **sezioni coniche**, cioè un circolo, una ellisse, parabola o iperbola secondo la velocità, di cui il mobile è dotato, ad una determinata distanza. Imperocchè siccome certe formole generali analitiche si adattano indifferentemente a tutte quelle sezioni, così l'analisi di quei movimenti conduce alle medesime formole. Consideriamo, per esempio, la formola del raggio vettore:

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \alpha}$$

nella quale p significa l'ordinata nel foco (il parametro), α l'angolo che fa l'asse maggiore col raggio r (l'anomalia vera), e l'eccentricità numerica della curva. Secondochè il valore di e sarà uguale a zero, minore o maggiore di 1, ovvero uguale a 1, la formola rappresenterà il raggio (vettore) di un circolo, o d'una ellisse, iperbola o parabola. Ora la ricerca del raggio vettore di una curva descritta da un mobile

Digitized by Google

sotto le condizioni accennate conduce ad una formola del tutto analoga alla precedente.(1)

582. — Come un'ellisse poco eccentrica si rassomiglia al circolo, così un'altra molto eccentrica E (Fig. 276), specialmente nella parte più vicina ai fochi, si rassomiglia all'iperbola (I I'); la parabola (P P') rappresenta il passaggio dall'ellisse all'iperbola. La figura mostra, come talvolta nella parte vicina al corpo centrale, un'orbita rappresentata dal piccolo cerchietto C, difficilmente si distingue da simili orbite delle varie sezioni coniche. Generalmente parlando, la natura della curva, descritta dal corpo celeste, dipenderà dalla forza viva del suo moto nella massima vicinanza al corpo centrale, cioè nel perielio o periastro. Denotando con m la massa, con v la velocità del corpo in moto, quella forza viva sarà espressa dalla formola

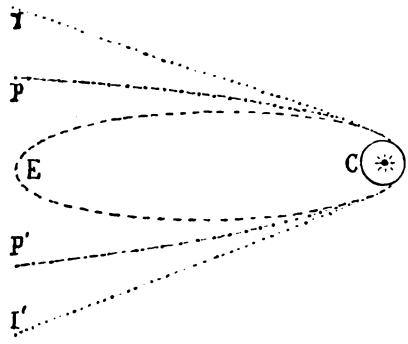


Fig. 276.

$$\frac{m v^2}{2}.$$

Se con f indichiamo la forza centripeta ossia di attrazione del corpo centrale e con r la distanza minima, potremo distinguere i seguenti casi:

$$\text{Iperbola } \frac{m v^2}{2} > f r \quad ; \qquad \text{parabola } \frac{m v^2}{2} = f r \quad ;$$

$$\text{ellisse } \frac{m v^2}{2} < f r \quad ; \qquad \text{circolo } \frac{m v^2}{2} = \frac{f r}{2}.$$

Da ciò si vede, che per lo stesso corpo (di massa m) tutto dipenderà dalla velocità di proiezione ad esso comunicata in presenza del corpo attraente ad una determinata distanza da

(1) Cfr. FOGLINI, *Corso di Meccanica*. Roma, 1872, vol. II, pag. 115.

Digitized by Google

questo. Mentre le rispettive velocità, che producono una traiettoria parabolica o circolare, sono ben determinate, quelle invece, le quali richiedono orbite ellittiche ed iperboliche, possono essere svariatissime.

583. — Nel nostro **sistema solare** la massa centrale del Sole è così grande rispetto alle masse dei pianeti e delle comete, che per una prima determinazione delle orbite, quest'ultima può trascurarsi del tutto. Vale poi per tutte le curve possibili la II legge di Keplero, conseguenza della gravitazione universale (n. 397); cioè le aree, descritte dal raggio vettore in tempi uguali, sono uguali. Conseguentemente la velocità di traslazione del corpo girante intorno al Sole sarà sempre massima al tempo del perielio. La figura 277 mostra il cammino percorso in poche ore dalla grande cometa del 1843, la quale al momento del suo perielio (27 febbraio) percorse circa 562 chilometri in un minuto secondo! (1) Questa enorme velocità, se fosse rimasta costante, sarebbe bastata a condurre la cometa in 24 ore ben dieci volte intorno al Sole; così si capisce, perchè ad onta della grande vicinanza al Sole, la cometa non solamente non cadde sopra di esso, ma ebbe pure la forza di allontanarsi di nuovo dall'astro centrale.

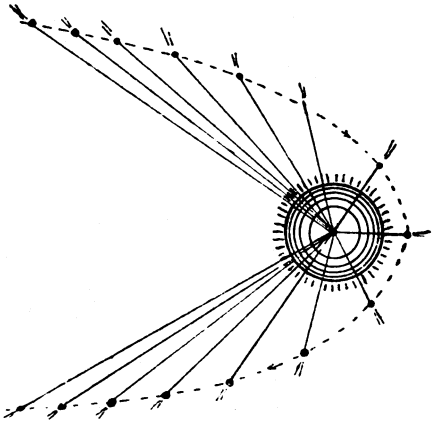


Fig. 277. Orbita della grande cometa del 1843.

(1) I singoli settori nella figura rappresentano l'intervallo di un'ora.

Digitized by Google

584. — Elementi di un'orbita sogliono chiamarsi quelle quantità, le quali determinano talmente la posizione e forma della medesima, che per un momento qualunque si può assegnare il luogo, sia vero, sia apparente dell'astro rispettivo, sulla sfera celeste (n. 454). La posizione dell'orbita nello spazio suol riferirsi al piano dell'eclittica, indicando in questa la linea dei nodi, cioè la linea d'intersezione dell'orbita planetaria con quella dell'eclittica. Questa linea è determinata, se conosciamo la **longitudine del nodo ascendente** (Ω), ossia la longitudine eliocentrica di quel punto, dove il corpo celeste dall'emisferio australe, attraverso l'eclittica, passa all'emisferio boreale.[1] — Conoscendo inoltre **l'inclinazione** (i), che il piano dell'orbita fa con quello dell'eclittica, la posizione della prima nello spazio sarà determinata.

In terzo luogo fa d'uopo conoscere la posizione dell'asse (maggiore), ossia della linea degli absidi, la quale congiunge il centro del corpo centrale col punto più vicino dell'orbita; in altre parole, bisogna conoscere **la longitudine del perielio** (π).

Avendo determinato inoltre la **lunghezza del semiasse maggiore** (a) e **l'eccentricità** (e) della curva descritta, sarà possibile di assegnare la posizione (eliocentrica) del corpo celeste per un tempo qualunque, purchè si conosca il punto della sfera celeste, dove trovavasi in un'altra epoca qualunque, per la quale si suole ordinariamente prendere il **tempo del passaggio al perielio.**

Questi sei elementi[2] sono bastevoli per la soluzione del problema, l'ulteriore sviluppo del quale vedasi nei trattati maggiori della meccanica celeste. Noi in questo compendio dobbiamo contentarci dei cenni già dati di sopra relativamente all'orbita terrestre (n. 454 sg.), aggiungendo qui soltanto i punti di vista più generali, sotto i quali gli astronomi sogliono

(1) Bisognerà però tener conto della precessione (num. 439), ossia del cambiamento della posizione del punto d'Ariete (Υ).

(2) Talvolta si aggiunge anche il moto medio, il quale però secondo la terza legge di Keplero dipende dall'asse maggiore (a). Nel caso poi di orbite paraboliche, dove l'eccentricità è sempre la stessa ($e=1$), e dove l'asse è senza fine da una parte, basterà determinare la distanza (q) del perielio dall'astro centrale.

Digitized by Google

istituire le loro indagini intorno alle orbite da determinarsi. Essendo poi un po' differente il caso delle orbite planetarie da quello delle orbite degli altri corpi celesti, passeremo brevemente in rivista i casi particolari.

CAPITOLO II.

ORBITE PLANETARIE DEL SISTEMA SOLARE.

ART. I. — TRASFORMAZIONE DELLE COORDINATE GEOCENTRICHE IN ELIOCENTRICHE.

585. — Le orbite planetarie sono orbite ellittiche poco eccentriche. Ad esse si applica quindi la teoria del moto ellittico, in gran parte già spiegata di sopra (n. 454 sgg., 470 sgg.).

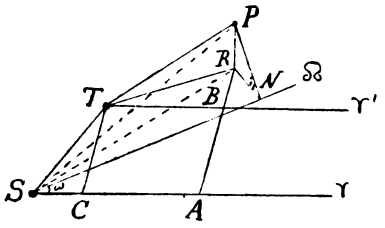


Fig. 278.

Quello che rende necessaria una nuova discussione del problema si è, che le osservazioni fatte sulla Terra, e riferite al centro della medesima, devono riferirsi al centro solare; ovvero, come brevemente suol dirsi, le **coordinate geocentriche** devono essere trasformate in **eliocentriche.**

Siano pertanto (Fig. 278) S, T e P i rispettivi centri del Sole, della Terra e del pianeta. SΥ indichi la direzione del punto equinoziale, veduto da S, TΥ' quella del medesimo punto, veduto dalla Terra. Congiungendo ancora S con T, le linee ST, SΥ e TΥ' giacciono tutte nel piano dell'eclittica, al quale si vogliono riferire le coordinate di P. SΩ indichi la direzione del nodo dell'orbita planetaria; sia inoltre PR perpendicolare all'eclittica, e PN $\perp$ SΩ; congiungendo di più

Digitized by Google

i punti P ed R con S, T ed N, avremo rispetto al pianeta P una rappresentazione grafica delle quantità seguenti:

$\omega = \sphericalangle \Omega\, S\, \Upsilon$ = longitudine del nodo
$i = \sphericalangle P\, N\, R$ = inclinazione dell'orbita
$l = \sphericalangle R\, S\, \Upsilon$ = longitudine eliocentrica
$l' = \sphericalangle R\, T\, \Upsilon'$ = » geocentrica
$\lambda = \sphericalangle P\, S\, R$ = latitudine eliocentrica
$\lambda' = \sphericalangle P\, T\, R$ = » geocentrica
$d = PS$ = distanza eliocentrica $\left\{ p = RS = \text{« distanza accorciata » eliocentrica} \right.$
$d' = PT$ = » geocentrica $\left\{ p' = RT = \text{« distanza accorciata » geocentrica.} \right.$

Posto ciò, facciamo ancora $RA \perp S\Upsilon$; RA intersechi $T\Upsilon'$ in B; sarà quindi pure $RB \perp T\Upsilon'$. Sia di più $TC \perp SA$, allora le coordinate rettilinee (ortogonali e eliocentriche) di P saranno rappresentate da

$$\left.\begin{aligned} x &= SA = p \cos l = d \cos l \cos \lambda \\ y &= AR = p \operatorname{sen} l = d \operatorname{sen} l \cos \lambda \\ z &= RP = p \operatorname{tg} \lambda = d \operatorname{sen} \lambda \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Le rispettive coordinate geocentriche saranno

$$\left.\begin{aligned} x' &= TB = p' \cos l' = d' \cos l' \cos \lambda' \\ y' &= BR = p' \operatorname{sen} l' = d' \operatorname{sen} l' \cos \lambda' \\ z' &= RP = p' \operatorname{tg} \lambda' = d' \operatorname{sen} \lambda' \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Per le coordinate eliocentriche della Terra, che chiameremo x'', y'', z'', avremo

$$x'' = x - x' \; ; \; y'' = y - y' \; ; \; z'' = z - z' = 0 \quad (3)$$

Siccome poi la longitudine eliocentrica ($\sphericalangle \Upsilon\, S\, T = \oplus$) della Terra è sempre uguale a quella geocentrica del Sole $\pm$ 180°, cioè $\oplus = \odot \pm 180°$, e conseguentemente $\operatorname{sen} \oplus = -\operatorname{sen} \odot$, e $\cos \oplus = -\cos \odot$, ponendo pel raggio vettore della Terra $ST = r$, avremo le seguenti formole:

$$\left.\begin{aligned} x'' &= SC = r \cos \oplus = -r \cos \odot \\ y'' &= CT = r \operatorname{sen} \oplus = -r \operatorname{sen} \odot \\ z'' &= 0 \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

Digitized by Google

Sostituendo nelle equazioni (3) i rispettivi valori, per la desiderata trasformazione si avranno le formole: (1)

$$\left.\begin{aligned} x &= x' + x'' \\ y &= y' + y'' \\ z &= z' + z'' \end{aligned}\right\} \quad \text{ossia} \quad \left\{\begin{aligned} p\cos l &= p'\cos l' - r\cos ☉ \\ p\,\text{sen}\, l &= p'\,\text{sen}\, l' - r\,\text{sen}\, ☉ \\ p\,\text{tg}\ \lambda &= p'\,\text{tg}\ \lambda' \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

ovvero

$$\left.\begin{aligned} d\cos l\cos\lambda &= d'\cos l'\cos\lambda' - r\cos ☉ \\ d\,\text{sen}\, l\cos\lambda &= d'\,\text{sen}\, l'\cos\lambda' - r\,\text{sen}\, ☉ \\ d\,\text{sen}\,\lambda &= d'\,\text{sen}\,\lambda' \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

Art. II. — Elementi di un'orbita planetaria.

586. — La longitudine del Nodo (ω) può determinarsi in questo modo. Sia S ☊ (Fig. 279) la linea dei nodi, condotta pel Sole (S). Si osserva due volte il pianeta, quando attraversa l'eclittica e trovasi conseguentemente nel suo nodo N; la Terra si trovi nelle posizioni T e T'. (2) La teoria del moto ellittico della Terra somministra i due raggi vettori $ST = r$ ed $ST' = r'$, e le anomalie vere corrispondenti, la differenza delle quali sarà rappresentata dall'angolo $TST' = \delta$. Sarà quindi conosciuto il triangolo TST'. Avendo osservato in T e T' le rispettive elongazioni del pianeta dal Sole, cioè gli angoli $NTS = \varepsilon$ ed $NT'S = \varepsilon'$, sarà pure noto il triangolo TNT'; poichè $\sphericalangle T'TN = T'TS + \varepsilon$, $\sphericalangle TT'N = TT'S - \varepsilon'$. Essendo così determinati i due vertici S ed N, si conosce la direzione di SN, ossia la linea dei nodi.

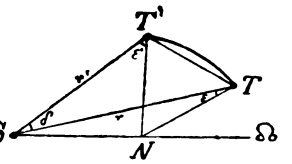


Fig. 279.

587. — L'inclinazione dell'orbita si trova poi in questa maniera:

(1) Le effemeridi astronomiche danno le coordinate solari per ogni giorno dell'anno, riferite però all'equatore come piano fondamentale. Per riferirle al piano dell'eclittica, vedi num. 246 sgg.

(2) Facciamo qui astrazione dallo spostamento dei nodi stessi, che è sempre piccolissimo nell'intervallo di una rivoluzione del pianeta e quindi trascurabile in una prima determinazione dell'orbita.

Digitized by Google

Conoscendo la linea dei nodi ☊☊ (Fig. 280), si faccia una osservazione del pianeta P, quando la Terra T trovasi sopra ☊☊, determinando la latitudine e longitudine di P. Il triangolo sferico P′R′N′, rettangolo in R, coi noti lati P′R′ (latitudine geocentrica di P) e R′N′ (elongazione da S) determina senz'altro l'angolo $P'N'R' = i$, il quale rappresenta la cercata inclinazione.

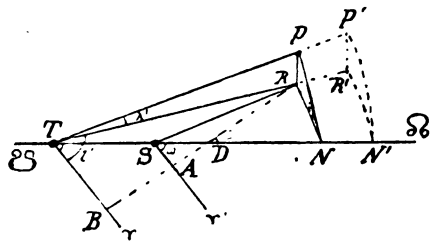


Fig. 280.

Facendo come sopra (n. 585) $PR \perp TR'$, $PN \perp S\,☊$, sarà $RN \perp S\,☊$; sia pure $RB \perp T\,♈$, quindi

$$\measuredangle \Upsilon' S N = \measuredangle D R N = \omega;$$

conseguentemente

$$z = z' = PR = RN \operatorname{tang} i;$$

$RN = RD \cos\omega = (RA - AD)\cos\omega = (y - SA \operatorname{tang}\omega)\cos\omega$; dunque

$$z = y \operatorname{tang} i \cos\omega - x \operatorname{tang} i \operatorname{sen}\omega \qquad (7)$$

la quale sarà l'equazione del piano dell'orbita per le coordinate eliocentriche.

Introducendo le coordinate geocentriche $(x', y' z')$ per mezzo delle equazioni (3) num. 585, otteniamo:

$$z' = z = (y' + y'') \operatorname{tang} i \cos\omega - (x' + x'') \operatorname{tang} i \operatorname{sen}\omega \qquad (8)$$

Sostituendo finalmente i valori rispettivi (5), risulterà l'equazione

$$p' \operatorname{tang} \lambda' = (p' \operatorname{sen} l' - r \operatorname{sen} ☉) \operatorname{tang} i \cos\omega - (p' \cos l' - r \cos ☉) \operatorname{tang} i \operatorname{sen}\omega$$

Digitized by Google

la quale si riduce a quest'altra identica

$$p' \operatorname{tang} \lambda' = \operatorname{tang} i [p' \operatorname{sen} (l' - \omega) - r \operatorname{sen} (☊ - \omega)] \quad (9)$$

che somministra un rapporto fra le qualità costanti i ed ω, la distanza accorciata p', e le coordinate geocentriche l' e λ' del pianeta osservato.

Se il pianeta al tempo dell'osservazione si trovasse nel suo nodo, ed allo stesso tempo in congiunzione, ovvero in opposizione col Sole, sarebbe $\lambda' = 0$, $l' = ☊ = \omega$ ovvero $l' = \omega = ☊ \pm 180°$. Quindi la longitudine geocentrica darebbe senz'altro la longitudine del nodo.

Determinato ω, si trova facilmente i mediante un'osservazione simile, trovandosi la Terra in T sulla linea ☊ ☋ ed il pianeta in un altro punto qualunque P, perchè allora essendo la longitudine del Sole uguale a quella del nodo ($☊ = \omega$, ovvero $\omega = ☊ \pm 180°$), sarà $r \operatorname{sen} (☊ - \omega) = 0$, quindi l'equazione precedente (9) prenderà la forma

$$\operatorname{tang} i = \frac{\operatorname{tang} \lambda}{\operatorname{sen} (l' - \omega)} . \quad (10)$$

L'esattezza della determinazione sarà tanto maggiore[1] quanto l'angolo $(l' - \omega)$ si avvicina più ad un angolo di 90° o 270°.

588. — La **distanza del pianeta dal Sole e dalla Terra** si determina ora facilmente, data la posizione dell'orbita.

Ritenendo la stessa nomenclatura dei numeri precedenti, l'equazione (9) per la distanza accorciata p' dà

$$p' = \frac{r \operatorname{tang} i \operatorname{sen} (☊ - \omega)}{\operatorname{tang} i \operatorname{sen} (l' - \omega) - \operatorname{tang} \lambda'} \quad (11)$$

trovato p', le equazioni (2) forniscono la distanza geocentrica d'; le formole (5) e (6) dànno p, l, λ e d; cioè oltre le distanze rispettive si ottengono pure le **coordinate eliocentriche.**

(1) Si noti però, che la posizione del nodo e l'inclinazione sono soggette ad uno spostamento lentissimo, conosciuto sotto il nome di *variazione secolare dei nodi e delle inclinazioni*; questo spostamento è una conseguenza delle perturbazioni, delle quali parleremo più sotto.

Digitized by Google

Per rendere le formole (5) più adatte al calcolo logaritmico, si sommano la prima, moltiplicata per sen l', colla seconda, moltiplicata per $-\cos l'$; similmente la prima, moltiplicata per $\cos l'$, colla seconda, moltiplicata per sen l', donde risulta:

$$\left.\begin{aligned} p \operatorname{sen}(l' - l) &= r \operatorname{sen}(\text{☊} - l') \\ p \cos(l' - l) &= p' - r \cos(\text{☊} - l') \end{aligned}\right\} \quad (12)$$

Onde si cava tang $(l' - l)$ e poi $l = l' - (l' - l)$. Sommando i quadrati di (12), si ottiene

$$p^2 = r^2 - 2\, r p' \cos(\text{☊} - l') + p'^2 \quad (13)$$

L'ultima equazione (5) somministra λ, essendo

$$\operatorname{tang} \lambda = \frac{p'}{p} \operatorname{tang} \lambda' . \quad (14)$$

Trovati poi p e λ, essendo $\cos \lambda = \frac{p}{d}$, si trova

$$d = \frac{p}{\cos \lambda} . \quad (15)$$

589. — Il **semiasse maggiore** (a) dell'orbita, per una prima determinazione (trascurando cioè la massa del pianeta relativamente a quella del Sole), si può semplicemente dedurre dalla terza legge di Keplero (n. 377), secondo la quale per tutti i pianeti il rapporto tra il quadrato dei tempi periodici ed il cubo dell'asse maggiore è costantemente lo stesso.

Il tempo periodico viene determinato da due appulsi del pianeta allo stesso punto del cielo. Per riferire più facilmente al Sole l'osservazione di questi appulsi, da farsi sulla Terra, si suole scegliere il momento del passaggio del pianeta all'eclittica, ossia ad uno dei nodi, il quale per il Sole e per la Terra accade allo stesso momento. Prendendo poi come unità di misura la distanza media della Terra, ossia il semiasse maggiore dell'orbita terrestre, si può dedurne il semiasse dell'orbita planetaria. Il moto medio diurno angolare sarà semplicemente uguale a 360°, diviso pel numero dei giorni contenuti nel tempo periodico.

Digitized by Google

590. — Gli elementi rimanenti, cioè l'**eccentricità** (e) e la **longitudine**[1] **del perielio** (π), possono calcolarsi dietro i dati già stabiliti.

Calcolate tre diverse distanze del pianeta dal Sole, ossia dati tre raggi vettori (r, r', r'') cogli angoli tra essi compresi, il problema si riduce alla determinazione di un'ellisse, della quale si conoscono (oltre il foco) tre punti.

Siano dunque conosciuti i tre raggi vettori (fig. 281) $S A = r$, $S B = r'$, $S C = r''$, colle longitudini corrispondenti: $\measuredangle \Upsilon S A = l$, $\measuredangle \Upsilon S B = l'$, $\measuredangle \Upsilon S C = l''$. P sia il punto del perielio cercato, a il semiasse maggiore, e l'eccentricità.

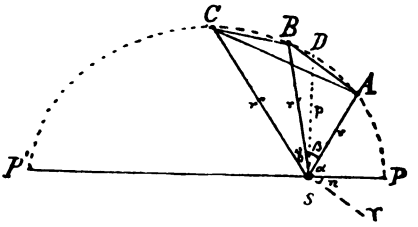


Fig. 281.

Introdotto nella formola generale dell'ellisse (num. 477) il parametro $S D = p$; ossia l'ordinata del foco, risulta l'equazione:

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos \alpha} = \frac{p}{1 + e \cos \alpha}$$

nelle quale α rappresenta l'angolo P S A fra l'asse maggiore ($2a$) ed il raggio vettore (r), ossia l'anomalia vera. Sarà nel caso nostro $\alpha = l - \pi$; $\alpha' = l' - \pi$; $\alpha'' = l'' - \pi$; conseguentemente

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \alpha} ; \quad r' = \frac{p}{1 + e \cos \alpha'} ; \quad r'' = \frac{p}{1 + e \cos \alpha''} ;$$

(1) Longitudine del perielio suole adesso comunemente chiamarsi la somma degli archi P N e N Υ (Fig. 282), cioè la distanza angolare del perielio dal nodo (contata nel senso del moto del corpo celeste) aumentata della longitudine del nodo medesimo, e ciò indifferentemente per tutti i corpi celesti, sia il loro moto diretto, ovvero retrogrado.

Digitized by Google

ossia

$$\frac{p}{r} = 1 + e\cos\alpha;\ \frac{p}{r'} = 1 + e\cos\alpha';\ \frac{p}{r''} = 1 + e\cos\alpha''. \quad (16)$$

Per brevità di espressione mettiamo

$$\sphericalangle ASB = \beta = l' - l; \qquad \sphericalangle BSC = \gamma = l'' - l';$$
$$\sphericalangle ASC = \beta + \gamma = l'' - l.$$

Moltiplicando poi la prima delle equazioni (16) per $\operatorname{sen}\gamma$, la seconda per $-\operatorname{sen}(\beta+\gamma)$, la terza per $\operatorname{sen}\beta$, e sommando le tre nuove equazioni avremo:

$$p\left[\frac{\operatorname{sen}\gamma}{r} - \frac{\operatorname{sen}(\beta+\gamma)}{r'} + \frac{\operatorname{sen}\beta}{r''}\right] = \operatorname{sen}\gamma - \operatorname{sen}(\beta+\gamma) + \operatorname{sen}\beta +$$
$$+ e\left[\cos\alpha\cdot\operatorname{sen}\gamma - \cos\alpha'\cdot\operatorname{sen}(\beta+\gamma) + \cos\alpha''\cdot\operatorname{sen}\beta\right].$$

Il coefficiente di e di quest'ultima equazione è uguale a zero,[1] sarà quindi

$$\frac{p}{r\cdot r'\cdot r''} = \frac{\operatorname{sen}\gamma - \operatorname{sen}(\beta+\gamma) + \operatorname{sen}\beta}{r'r''\operatorname{sen}\gamma - rr''\operatorname{sen}(\beta+\gamma) + rr'\operatorname{sen}\beta}, \quad (17)$$

La quale equazione permette di trovare il **parametro** p. Determinato p, due qualunque delle equazioni (16) daranno i valori di e e di π, cioè l'eccentricità e la longitudine del perielio.

591. — Invece dell'eccentricità numerica e, alcuni preferiscono di introdurre l'angolo dell'eccentricità (n. 456), chiamato anche eccentricità ottica; poichè sotto quest'an-

(1) Per provarlo basta ricordare la formola generale trigonometrica

$$2\cos\alpha\cos\beta = \operatorname{sen}(\alpha+\beta) - \operatorname{sen}(\alpha-\beta).$$

Sostituendo i valori rispettivi nel suddetto coefficiente di e, i termini nella parentisi si annullano a due a due.

Si noti poi che i termini $r'r''\operatorname{sen}\gamma$, $rr''\operatorname{sen}(\beta+\gamma)$, $rr'\operatorname{sen}\beta$ nel denominatore di (17) rappresentano le aree raddoppiate dei tre triangoli BSC, ASC, ASB, ossia il doppio dell'area triangolare ACB; poichè

$$\triangle BSC - \triangle ASC + \triangle ASB = \triangle ACB.$$

Quanto più i punti A B C si scostano dal formare una linea retta, tanto più precisa sarà la determinazione del parametro.

Digitized by Google

golo un occhio collocato all'estremità dell'asse minore vedrebbe l'eccentricità lineare.

Longitudine del perielio (π) suol chiamarsi la somma degli angoli che formano la longitudine del nodo (Ω) e la distanza angolare (ω) del perielio dal detto nodo (Fig. 282), cioè $\sphericalangle \Upsilon S N + \sphericalangle N S P$, ossia

$$\pi = \Omega + \omega .$$

Se di più P' indica la posizione attuale del pianeta nella sua orbita N P, l'angolo $PSP' = \alpha$ sarà l'anomalia vera. Conducendo un circolo massimo P'A per P', perpendicolare a $\Upsilon\,\Omega$, $P'A = \lambda$ sarà la latitudine di P', determinata dal triangolo sferico N A P', rettangolo in A, di cui, oltre l'angolo i (inclinazione dell'orbita), si conosce l'ipotenusa $N P' = \omega + \alpha$. La somma $\omega + \alpha = u$ viene perciò chiamata **argomento di latitudine**; imperocchè (num. 223)

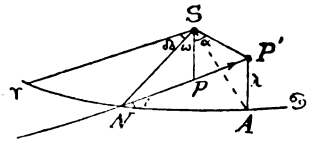


Fig. 282.

$$\operatorname{sen}\lambda = \operatorname{sen} i \operatorname{sen} u = \operatorname{sen} i \operatorname{sen}(\omega+\alpha) = \operatorname{sen} i \operatorname{sen}(\pi - \Omega + \alpha) \qquad (18)$$

La longitudine eliocentrica l di P', sarà data dalla somma $l = \sphericalangle \Upsilon S N + \sphericalangle N S A$, essendo

$$\operatorname{tg}(l - \Omega) = \cos i \operatorname{tg} u = \cos i \operatorname{tg}(\pi - \Omega + \alpha) . \qquad (19)$$

592. — Trovati gli elementi di un'orbita per una data **Epoca** (E), e conoscendo quindi il tempo periodico di una rivoluzione eliocentrica, e con ciò il moto medio (m), e la rispettiva longitudine del perielio (π), si trova senz'altro per un tempo qualunque t l'anomalia media μ, essendo

$$\mu = E - \pi + m\,t \qquad (20)$$

L'anomalia eccentrica (ε) si trova poi mediante la nota formola (num. 472)

$$\mu = \varepsilon - e \operatorname{sen} \varepsilon$$

e l'anomalia vera (α) per l'altra (num. 476)

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} ;$$

Digitized by Google

e finalmente il corrispondente raggio vettore (r) num. 475

$$r = a\,(1 - e\cos\varepsilon)\,.$$

Se si vogliono conoscere piuttosto le **coordinate geocentriche**, si può fare uso delle formole (5) num. 585, le quali forniscono la latitudine (λ') e longitudine (l') geocentrica Queste coordinate eclitticali si potranno di più trasformare in equatoriali, mediante le formole del num. 247, e così preparare un'effemeride per ulteriori osservazioni.

COROLLARIO I.

593. — Elementi delle orbite dei pianeti maggiori. (1)

Pianeti	Distanza media dal Sole		Rivoluzione siderea in giorni	Eccentricità	Longitudine del		Inclinazione
	♁ = 1	Milioni Km.			Nodo	Perielio	
☿	0,39	57,9	87,97	0,2056	46° 33′	75° 7′	7° 0′
♀	0,72	108,1	224,70	0,0068	75° 20′	129° 27′	3° 24′
♁	1,00	149,5	365,25	0,0168	—	100° 21′	—
♂	1,52	227,8	686,98	0,0933	48° 24′	333° 18′	1° 51′
♃	5,20	777,7	4430,59	0,0482	98° 56′	11° 54′	1° 19′
♄	9,54	1425,9	10746,95	0,0560	112° 21′	90° 7′	2° 30′
♅	19,18	2867,5	30587,21	0,0465	73° 15′	170° 39′	0° 46′
♆	30,05	4492,9	59736,26	0,0090	130° 7′	46° 9′	1° 47′

(1) Delle altre quantità costanti, che spettano piuttosto alla costituzione fisica dei singoli pianeti, tratteremo nel libro seguente dell'Astrofisica. I dati della tavola valgono per l'epoca del 1° genn. 1850 (astr. 31 dicembre 1849).

Digitized by Google

COROLLARIO II. — ORBITE DEI PIANETINI TRA MARTE E GIOVE.

594. — I piccoli pianeti (asteroidi), scoperti dal 1801 in poi tra Marte e Giove (num. 407, 408), in quanto agli elementi delle loro orbite, si rassomigliano del tutto ai pianeti maggiori. Tutti trovansi nella zona eclitticale, tutti girano con moto diretto intorno al Sole, descrivendo ellissi poco eccentriche. La teoria dei loro movimenti è quindi del tutto simile a quella dei grandi pianeti. La piccolezza però della loro massa, a cagione della quale, veduti nel telescopio, appariscono come tante stellette, senza diametro sensibile, rende i loro moti più facilmente soggetti all'**attrazione perturbatrice** degli altri pianeti, specialmente del vicino pianeta gigante Giove.

Siccome le scoperte, grazie al metodo fotografico,[1] aumentano sempre più, non è cosa facile, ad onta dei calcoli fatti e degli elementi registrati, di sapere subito, se un asteroide, registrato dalla lastra sensibile, sia un pianetino nuovo, ovvero uno dei (più o meno cinquecento) già osservati. Si è quindi convenuto di indicare simili scoperte, cominciando dall'anno 1893 secondo l'**ordine alfabetico** per es. 1893 A, 1893 B, ecc. Finito l'alfabeto si comincia da capo con AA, AB, AC, ecc. poi BA, BB, BC, ecc. Soltanto dopochè sia stato accertato trattarsi di un pianetino finora sconosciuto, si assegna al medesimo il suo numero definitivo, nella lunga serie dei suoi compagni. Tocca poi allo scopritore di assegnare un nome all'asteroide novello.[2]

595. — L'inclinazione delle varie orbite, per la massima parte dei planetoidi, non eccede 15°; in pochi arriva

(1) Il primo pianetino scoperto con questo metodo è quello chiamato *Brucia* (323); esso fu trovato dal Wolf in Heidelberg, 22 dic. 1891.

(2) Si cominciò ad adoperare questo metodo (1892) coll'intenzione di cominciare un nuovo alfabeto con ogni anno. Si vide però presto, che un alfabeto solo non basterebbe. Per evitare equivoci si continua quindi la numerazione nel modo suddetto. Col marzo del 1903 siamo già arrivati alla cifra LP, pianetino scoperto il 20 febb. precedente dal prelodato Wolf in Heidelberg. La numerazione regolare ha già oltrepassato il 500. I numeri generalmente parlando sono quelli della successiva scoperta, eccezioni da questa regola erano però inevitabili, ed oramai lo sono più di prima.

Digitized by Google

a 20° o 25°; un caso del tutto eccezionale forma l'asteroide Pallade (2), che ha un'inclinazione di 34°41′; segue Istria (183) con un'inclinazione di 26°26′, mentre quella di Massalia (20), Themis (24) e Medusa (149) neppure arriva ad 1°. La stessa varietà troviamo rispetto agli altri elementi: l'eccentricità dell'orbita di Aethra (132), Polyhymnia (33) ed Eva (164) supera 0,3. Si trovano quindi nell'afelio del doppio circa più distanti dal Sole, che nel perielio.

L'orbita invece di Chicago (334) verso la fine del 1894 sembrava un circolo perfetto. Mentre Walpurga (256) con un semiasse maggiore di 4,263 richiede 8,80 anni per una rivoluzione intorno al Sole, altri asteroidi come Medusa (149) e Sita (244) compiono il loro giro in appena 3,21 anni. Una delle distanze più grandi dal Sole al tempo dell'afelio (4,772) è quella del pianetino Bononia (361), una delle distanze più piccole del perielio (1,564) è quella del pianeta Brucia (323).

Menzione speciale merita qui il pianetino **Eros** (433), scoperto dal signor Witt all'osservatorio dell'Urania di Berlino il 13 agosto 1898. La maggior parte della sua orbita giace nell'interno dell'orbita di Marte, cosicchè dopo la Luna esso deve essere considerato come il corpo celeste, che si avvicina alla Terra più di qualunque altro pianeta. Compie la sua rivoluzione intorno al Sole in 644,7 giorni. Al tempo della scoperta era una piccola stelletta di XI-XII grandezza. Nella massima vicinanza però alla Terra la sua luminosità cresce assai. Gli elementi (1) calcolati dal Berberich per l'epoca 1898, agosto 31,5 (tempo medio di Berlino), sono:

$M = 220°14' 3'',7$	$i = 11°6'57'',1$	$\log a = 0,164521$
$\omega = 178°28'26'',2$	$\varphi = 13°13'3'',8$	$U = 644,7$ giorni
$\Omega = 303°48'53'',0$	$\mu = 2010'',131$	

La distanza media dal Sole, espressa in unità della distanza media della Terra dal Sole, è uguale a 1,46057. Eros può

(1) In questa nomenclatura ora generalmente adoperata nelle effemeridi astronomiche (tedesche) significano: M longitudine media, ω longitudine del perielio, Ω longitudine del nodo ascendente, i l'inclinazione, φ l'angolo dell'eccentricità, μ il moto medio diurno, a il semiasse maggiore, U (*Umlauf*) il tempo periodico d'una rivoluzione.

Digitized by Google

quindi avvicinarsi alla Terra molto più che non il pianeta Marte. Anzi al tempo delle opposizioni perieliche, egli sta così vicino al Sole, che il suo moto apparente rimane diretto. La sua orbita giace nell'interno di tutte le altre orbite asteroidali finora conosciute, incrociando soltanto, vicino all'afelio una parte dell'orbita di Agathe (228). Per tutte queste ragioni Eros è molto adattato alla determinazione della parallasse del Sole (n. 463); rigorosamente parlando egli non appartiene più ai pianetini tra Marte e Giove. Si dovrà forse un giorno, rinnovandosi simili scoperte, parlare di Asteroidi tra la Terra e Giove, dei quali Marte sarà quasi il principe e governatore. Lo spazio ristretto, concessoci in quest'opera, neppure ci permette di inserire qui un elenco di tutti gli elementi dei pianetini; chi lo desidera, lo troverà nell'*Astron. Jahrbuch* di Berlino.

CAPITOLO III.

ORBITE DELLE COMETE.

596. — Le orbite cometarie, come quelle dei pianeti ed asteroidi, formano sezioni coniche intorno al Sole, il quale trovasi nel foco delle curve rispettive. La principale differenza sta in ciò, che mentre i pianeti e pianetini percorrono ellissi poco eccentriche, le orbite cometarie non solamente presentano ellissi molto eccentriche, ma talvolta sono vere parabole ed iperbole. Anche rispetto agli elementi delle orbite si scorge in esse una grandissima varietà. Le varie longitudini dei nodi delle medesime trovansi sparse per tutta l'eclittica, da 0° a 360°; l'inclinazione talvolta arriva a formare un angolo retto col piano dell'orbita terrestre; il moto può essere diretto e retrogrado; il periodo d'una rivoluzione in alcune è assai breve, in altre abbraccia centinaia d'anni, in altri sembra una cosa interminabile. La fig. 283 rappresenta insieme colle orbite di Giove (♃) e Saturno (♄) le orbite ellittiche di otto comete, il ritorno delle quali è stato calcolato ed osservato.

Digitized by Google

Le comete si osservano conseguentemente in qualunque parte del cielo, che viene attraversato da esse in qualunque direzione. Anzi per evitare gli equivoci, è stato necessario di

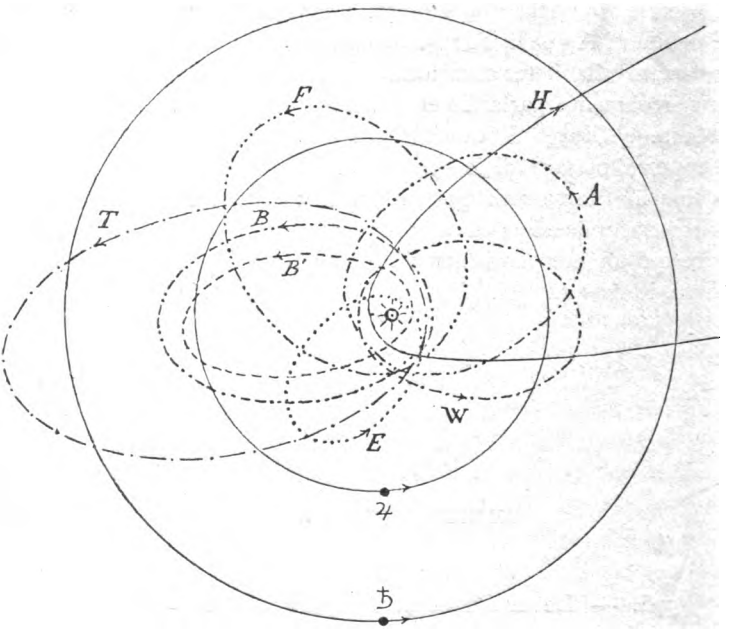


Fig. 283.
Comete periodiche di Arrest (*A*), Biela (*B*), Brorsen (*B'*), Encke (*E*), Faye (*F*), Halley (*H*) Tuttle (*T*), Winnecke (*W*).

cambiare un poco la nomenclatura degli stessi elementi, specialmente relativamente all'inclinazione dell'orbita, e tutto quello che è connesso colla medesima. Nella fig. 284 il circolo ♈ N ♎ N′ rappresenti l'eclittica, col Sole S nel mezzo; la linea N N′ rappresenti la linea dei nodi di tre orbite cometarie diverse (N C N′, N K N′, N C′ N′); quelle di C e C′ abbiano un inclinazione $i = 45°$, ma in senso inverso, mentre quella di K sta perpendicolare all'eclittica. Se N rappresenta il nodo ascendente, la cometa C avrà un moto diretto, la cometa C′ un moto retrogrado, nel caso di K il moto sarà indifferente. I punti P, P′, H, rappresentino i vari pe-

Digitized by Google

rieli, e supponiamo, che la distanza angolare eliocentrica di tutti e tre da N sia la stessa; allora la longitudine del perielio di C sarebbe espressa (num. 591) da $\measuredangle \Upsilon S N + N S P = \Omega + \omega$; la longitudine invece di P′ dagli angoli $\measuredangle \Upsilon S N + 180^\circ + \measuredangle N' S P'$, ossia $\Omega + 180^\circ + 180^\circ - \omega = \Omega - \omega$, imperocchè la consuetudine introdotta vuole, che si conti la distanza del perielio dal nodo ascendente nel senso del moto (diretto) della Terra: in altre parole, arrivata l'inclinazione a 90°, l'angolo ω cambia segno.

Per semplificare il computo, gli autori più recenti (Gauss, Oppolzer, Klinkerfues, ecc.), sogliono contare l'inclinazione i

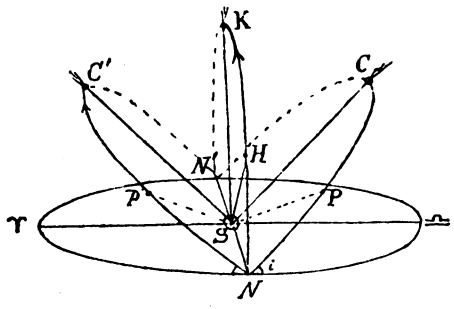


Fig. 284.

oltre 90°. Così nel caso nostro, l'inclinazione dell'orbita di C sarà uguale a 45°, quella di K a 90°, quella di C′ a 135°; si intende poi da sè, che il moto di C′ è retrogrado. Secondo il computo antico la distanza del perielio di C′ da N sarebbe

$$360^\circ - 45^\circ = 315^\circ;$$

secondo il computo moderno questa distanza, in tutti i tre casi, si esprime per mezzo dell'angolo

$$P' S N = H S N = P S N = \omega = 45^\circ.$$

597. — Riservando la discussione delle proprietà fisiche delle comete al libro seguente, e lasciando le complicate teorie delle orbite ai trattati speciali,[1] daremo qui soltanto una breve espo-

(1) Tra questi rimangono sempre classici quelli del GAUSS [*Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis circa Solem ambientium.* Hamburgi, 1809], dell'OLBERS [*Leichteste und bequemste Methode, die Bahn*

Digitized by Google

sizione delle idee generali, che servono di guida nella soluzione del problema. Parlando dell'orbita d'una cometa, facciamo astrazione dalle varie appendici (chioma, coda, ecc.), considerando soltanto lo spostamento del **nucleo cometario**, cioè di quella parte più condensata, che ordinariamente suole avere l'apparenza d'una stella più o meno sfumata. Le osservazioni delle comete, fatte e registrate dagli antichi (storici), generalmente parlando sono così imperfette, che non possono servire di base al calcolo delle orbite rispettive.(1) Ciò spiega pure, perchè solo per un piccolo numero di comete siasi potuto finora accertare il ritorno, ossia la periodicità.

Siccome il computo di un'**orbita parabolica** offre certi vantaggi sopra quello di un'ellisse o iperbola, nelle prime determinazioni si suole procedere dall'ipotesi, che la cometa descriva una parabola. Ancorchè dopo si trovi, che l'orbita così calcolata non soddisfaccia a tutte le osservazioni, il lavoro fatto non è mica inutile; imperciocchè si scorgerà allora più facilmente, in che senso l'orbita reale differisca da quella calcolata. Del resto ordinariamente la parabola rappresenta sufficientemente la parte dell'orbita osservata vicino al Sole, per la ragione già esposta di sopra (num. 582); e se l'eccentricità è poco inferiore ad 1, una piccola modificazione (0,0001) in essa, produce già nel periodo una differenza di circa 3000 anni, cosicchè la periodicità rimane in questi casi cosa assai problematica.

Gli elementi d'un'orbita parabolica riduconsi a cinque: inclinazione (i), longitudine del nodo (Ω), longitudine del pe-

eines Cometen zu berechnen. Weimar 1797], e dell'ENCKE [*Ueber die Bestimmung einer elliptischen Bahn aus drei vollständigen Beobachtungen.* Berlin 1854]. Dell'ultimo trattato possediamo anche una traduzione italiana fatta dall'illustre Schiaparelli, *Sopra la determinazione di un'orbita ellittica coll'aiuto di tre osservazioni complete.* Milano 1862, 8°, 92 pag.

(1) Così, per es., Aristotele (Meteorl. l. I), riferisce, che egli nell'inverno 371 av. C. osservò una cometa, vicina al punto equinoziale, la testa della quale tosto tramontava dopo il Sole, mentre la coda, che avea una lunghezza di circa 60°, terminando nella cinta d'Orione, rimaneva ancora per lungo tempo visibile. Altri si esprimono ancora più vagamente, annettendo nelle loro narrazioni più importanza alle forme bizzarre dei fenomeni, allo spavento generale, che eccitarono nel popolo, ecc., che non alla esatta posizione, occupata dall'astro da un giorno all'altro sulla sfera celeste.

Digitized by Google

rielio (π), tempo del passaggio al perielio (T), e la distanza minima dal Sole (q); ai quali nel caso d'un'iperbola deve aggiungersi l'eccentricità ($e > 1$).

598. — Nel caso di un'orbita iperbolica, come in quello della parabolica, la cometa rispettiva deve essere considerata come semplice visitatrice del nostro sistema solare; cioè venendo dagli spazi interstellari, fatto il giro intorno al Sole, essa si allontana sempre più, rompendo pian piano il vincolo dell'attrazione solare, che la tenne per breve tempo legata al nostro sistema. Per la determinazione delle cinque (o sei) incognite dell'orbita, ci vogliono più di due, cioè almeno **tre osservazioni** della cometa, per mezzo delle quali si conoscono le coordinate di tre luoghi distinti, successivamente occupati dalla medesima.

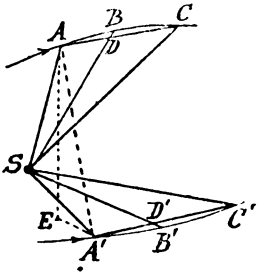


Fig. 285.

Siano A B C (Fig. 285) le tre posizioni della cometa, osservata sulla Terra nelle tre posizioni corrispondenti A', B', C', ai tempi $t_1\ t_2\ t_3$; il Sole stia in S. Secondo la legge II di Keplero, i settori A S B e B S C, come pure i settori A' S B' e B' S C' sono proporzionali ai tempi $t_2 - t_1 = \tau$, e $t_3 - t_2 = \tau'$, ossia

$$A\,S\,B : B\,S\,C = A'\,S\,B' : B'\,S\,C' = \tau : \tau'. \qquad (1)$$

Se gli intervalli di tempo τ e τ' sono relativamente piccoli, saranno pure piccoli gli archi A B, B C, A' B' e B' C'. Congiungendo poi per mezzo di linee rette i punti A e C, A' e C', le quali intersechino i raggi vettori S B ed S B' nei punti D e D', l'anzidetta proporzione avrà sensibilmente anche luogo pei triangoli così formati, cioè

$$\triangle A\,S\,D : \triangle D\,S\,C = \triangle A'\,S\,D' : \triangle D'\,S\,C' = \tau : \tau'. \qquad (2)$$

Siccome poi ciascun gruppo rappresenta due triangoli della medesima altezza, questi saranno proporzionali alle loro basi:

$$\left.\begin{aligned} A\,D : D\,C &= \tau : \tau' \\ A'\,D' : D'\,C' &= \tau : \tau' \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

Digitized by Google

Con queste supposizioni si trova la parabola, che passando per A e C, coincide col piano del circolo massimo della sfera celeste, che passa per S e D.

Come mezzi termini servono le cosidette **distanze accorciate,** della cometa dalla Terra, cioè la proiezione A′ E del raggio visuale A′ A, ecc., sull'eclittica. Mediante il rapporto di queste proiezioni si trova quella delle distanze vere della cometa dal Sole: cioè si trovano i raggi vettori S A ed S C; i quali poi forniscono le coordinate eliocentriche cioè la longitudine e latitudine. Trovate queste, si determinano senza difficoltà gli elementi: longitudine del nodo (Ω), l'inclinazione (i), la longitudine del perielio (π), la distanza (q) del medesimo dal Sole, e finalmente il tempo (T) trascorso dopo il passaggio al perielio.

Il calcolo pratico viene facilitato non poco da apposite tavole.(1)

599. Avendo calcolato un'orbita approssimativa, si costruiscono delle effemeridi, le quali permettono un confronto diretto delle osservazioni già fatte o ancora da farsi colle posizioni calcolate. Variando poi i singoli elementi (per esempio $i + \Delta i$, ecc.), si cerca l'influsso di questa variazione sul luogo geocentrico della cometa [si determina il cosidetto coefficiente differenziale dell'elemento da correggersi]. In questo modo si ottiene un numero di equazioni, doppio di quello delle osservazioni, contenenti tante incognite, quanti sono gli elementi da correggersi, cioè cinque o sei. Poi si determina col « metodo dei minimi quadrati » il sistema degli elementi, supposto il quale, la somma dei quadrati degli errori rimanenti rappresenta un minimo: questi elementi saranno i più probabili, finchè non si abbiano nuove osservazioni più esatte delle prime; allo stesso tempo si può conoscere il grado di probabilità, al quale ha condotto il calcolo.

Considerando, per es., l'eccentricità e, potrebbe darsi il caso, che la correzione da farsi dia $e > 1$; ora se l'errore medio rimanente di e sia considerevolmente più piccolo della correzione fatta Δe, allora vi sarà una grande probabilità, che l'orbita

(1) Vedi OPPOLZER, « Lehrbuch zur Bahnbestimmung der Kometen und Planeten ». Leipzig 1880–1882.

Digitized by Google

sia veramente iperbolica. Rimane in questo caso da decidere, che specie di iperbola soddisfaccia meglio alle osservazioni; un ritorno della cometa sarà escluso, salvo che le perturbazioni di altri corpi celesti, alterando l'orbita primitiva, la riconducano; ma di ciò più sotto.

600. Lo specchietto seguente dà una lista delle **comete più cospicue** osservate nei vari secoli:

Secolo av. Cr.	Numero di Comete	Secolo d. Cr.	Numero di Comete	Secolo d. Cr.	Numero di Comete	Secolo d. Cr.	Numero di Comete	Secolo d. Cr.	Numero di Comete
V	6	I	21	VI	24	XI	28	XVI	23
IV	7	II	18	VII	21	XII	22	XVII	12
III	5	III	35	VIII	13	XIII	25	XVIII	36
II	18	IV	21	IX	31	XIV	31	XIX	20
I	14	V	19	X	20	XV	35	—	—

È inutile osservare, che dopo l'invenzione del telescopio, ed aumentato il numero degli osservatori, il numero delle comete telescopiche scoperte ed osservate è cresciuto di molto, cosicchè in media si contano almeno due ogni anno; talvolta se ne vedono 5 fino a 10 allo stesso tempo.(1)

Concludiamo con un elenco degli **elementi delle comete periodiche**, il ritorno delle quali è stato osservato.

Nome delle comete	Transito al perielio	Nodo	Inclinazione	Perielio	Semiasse	Eccentricità	Periodo
Encke . . .	1888, VI, 28	335°	13°	159	2,22	0,845	3^a,31
Tempel 2 .	1889, II, 2	121	13	306	3,01	0,550	5,21
Brorsen . .	1890, II, 23	101	29	116	3,10	0,810	5,46
Tempel 3 .	1886, V, 9	297	5	43	3,12	0,656	5,51

(1) Verso la fine del 1892 si poterono osservare sette comete allo stesso tempo, delle quali però una sola (Holmes) era visibile ad occhio nudo.

Digitized by Google

Nome delle comete	Transito al perielio	Nodo	Inclinazione	Perielio	Semiasse	Eccentricità	Periodo
Winnecke .	1886, IX, 4	104	15	276	3,23	0,726	5,82
Tempel 1 .	1885, IX, 25	72	11	241	3,49	0,405	6,51
Biela . . .	1852, IX, 23	246	13	109	3,53	0,755	6,59
D'Arrest . .	1890, IX, 17	146	16	319	3,55	0,627	6,63
Wolf . . .	1884, XI, 17	206	155	19	3,57	0,560	6,80
Faye . . .	1881, I, 22	210	11	51	3,85	0,549	7,57
Tuttle. . .	1885, IX, 11	270	54	116	5,74	0,822	13,76
Pons . . .	1884, I, 25	254	74	93	17,24	0,955	71,58
Olbers. . .	1887, X, 8	85	45	150	17,41	0,931	72,63
Halley. . .	1835, XI, 15	55	162	305	17,99	0,967	76,37

CAPITOLO IV.

ORBITE DELLE STELLE CADENTI.

601. — Chi osserva il cielo stellato per qualche tempo, vede talvolta una stella apparentemente staccarsi dal fondo oscuro del cielo. Correndo rapidamente verso un'altra regione, essa lascia ordinariamente dietro di sè una striscia luminosa, più o meno rettilinea. Il fenomeno si manifesta colla velocità del lampo, e colla stessa rapidità scompariscono tanto la stella quanto la traccia luminosa. Alcune di queste meteore sono assai splendide, altre sono appena visibili ad occhio nudo, altre si osservano soltanto per mezzo di binocoli o telescopi. L'impressione che destano nell'osservatore è proprio quella di una stella cadente dal cielo; donde da tempo immemorabile si parla di « stelle cadenti »,[1] benchè oramai sia ben accertato, che

(1) Saepe etiam stellas, vento impendente, videbis
Praecipites coelo labi, noctisque per umbram
Flammarum longos a tergo albescere tractus.
Virg. Georg. I, 365-68.

I nomi, adottati nelle varie lingue alludono a simili interpretazioni: *étoile filante, shooting or falling star, estrella fugace, Sternschnuppe, valente ster*, ecc.

Digitized by Google

non è prodotto il fenomeno da stelle che cadono, ma da cause ben diverse.

Misure paralattiche delle traiettorie mostrano, che il fenomeno non si produce negli spazi interplanetari, ma bensì nelle parti più elevate della nostra atmosfera terrestre, cioè ad una distanza da circa 200 fino a 70 chilometri dalla superficie terrestre. Si tratta di corpicciuoli oscuri (ordinariamente di piccolissime dimensioni), i quali penetrati con grande velocità nell'atmosfera della Terra, per la compressione della medesima si accendono (a modo degli *acciarini pneumatici*) con luce vivissima, e perciò diventano visibili; ma ben presto dissipati dal grande calorico sviluppato, scompariscono di nuovo al nostro sguardo.

602. — Nelle notti serene, non rischiarate dalla Luna, nello spazio di un'ora si possono (generalmente parlando) osservare una diecina di « stelle cadenti ». Vi sono però certe notti dell'anno, nelle quali appariscono più numerose del solito; anzi in certi casi particolari, si sono contate in una medesima notte migliaia e migliaia di meteore luminose, le quali a modo di fuochi artificiali solcavano il fondo oscuro del cielo in tutte le direzioni. Noi stessi fummo testimoni di una tale **pioggia meteorica** in Roma, della quale il P. Secchi diede la seguente descrizione:[1] « Nella sera del 27 nov. 1872, appena disparve la luce crepuscolare, si vide il cielo solcato da miriadi di fuochi così copiosi, che a memoria d'uomo non eransi mai veduti a Roma. Essi erano in certi momenti comparabili a fiocchi di neve, tanto erano fitti, minuti e compatti. Quando fu fatto più oscuro, si vide che larghe falde luminose partivano dalla vicinanza dello zenit raggiando tutto intorno verso l'orizzonte. Le fiamme più vive scendevano a tre a quattro e fino a 7 ed 8 per volta insieme e listavano il cielo come i razzi pioventi da una bomba scoppiata in un fuoco di artifizio. Nel loro corso altre restavano bianche, altre rivestivano i più bei colori, volgendo dal bianco o dal verde al rosso vivo prima di sparire; molte incurvavansi a foggia di arco, altre a forma di serpe.

« In meno di tre minuti se ne contò più di un centinaio; vedendo che era impossibile contarle tutte, si volle armare il

(1) Accademia Tiberina, 10 marzo 1873.

Digitized by Google

cronografo, ma anche con questo riusciva impossibile il numerarle. Allora si prese l'espediente di spartire il cielo in cinque regioni destinate ad altrettanti osservatori: io osservava il centro di divergenza, per determinare il radiante, gli altri ciascuno un quarto di cielo. Ogni osservatore dava un *tò* e una sesta persona faceva ad ogni segnale dato una linea semplice di lapis nel giornale, distinguendo con un segno più lungo, e con una coda dritta o storta quelle che erano le più belle e che avevano coda sinuosa o altra particolarità, e segnando i tempi di tanto in tanto. Così il numero fu assicurato, e se ne registrarono 13 892, cioè circa 14 mila [dalle ore 7,55 alle 12,30]. Esse superavano talvolta le 90 per ogni minuto di tempo ».[1]

Il fenomeno straordinario fu osservato non solamente in tutta Italia, ma in Francia, Inghilterra, Germania, Norvegia, nell'Oriente ed Occidente (Grecia, Asia minore, America).

603. — Lo stesso fenomeno si riprodusse alla medesima data (27 nov.) del 1885 in un modo ancora più splendido ed imponente, come attestano le molte osservazioni fatte da moltissimi astronomi: P. Denza (Moncalieri), Schiaparelli (Milano), Seeliger (Monaco, Baviera), Schönfeld (Bonn), Meyer (Berlino), Franz (Königsberg), Weineck (Praga), Tucher (Malta), Zona (Palermo), Pechüle (Kopenhagen), Gill (Capo di Buona Speranza), Donner (Helsingsford), Struve (Pulkowa), ecc.

Il P. Denza, confrontando lo sciame straordinario con quello del 1872, da lui parimente osservato, scrive: « Nel 1872 vedemmo 43 mila meteore in sei ore, questa volta ne abbiamo contate 39 mila in sole quattro ore, sebbene gli osservatori non fossero sempre quattro come in quell'anno. Nel 1872 il massimo di frequenza accadde tra le $7^h\ 45^m$ e le $8^h\ 15^m$; quest'anno invece esso era probabilmente già incominciato, quando il fenomeno cominciò a vedersi, come si rileva dai numeri calcolati per la prima ora, che si mantengono quasi costanti... Nel 1872 nelle due ore prossime al massimo contammo, sempre in quattro osservatori, 18 600 stelle cadenti, questa volta invece nello stesso tempo, ma per lo più in due o tre, ne ab-

(1) Atti dell'Accad. Pont. de' Nuovi Lincei. Anno XXVI (1872-73) pag. 2.

Digitized by Google

biamo contate 29 800... Io credo di non errare, affermando che il numero delle stelle realmente apparso nel tempo delle nostre osservazioni, non sia stato minore di 150 a 160 mila... La più gran parte delle stelle partiva dalla regione stessa da cui irradiavano nel 1872, posta tra Perseo, Cassiopeia, ed Andromeda. Non si distingueva alcun centro secondario, come nelle sere ordinarie di maggiore affluenza... Pertanto lo sciame di meteore osservato è lo stesso che quello visto nel 1859 in gran copia da Heis e quello del 1872, il quale si presenta dopo due giri intorno al Sole, con un intervallo di 13 anni, che corrisponde al doppio periodo della cometa Biela, con cui lo sciame suddetto è insiememente connesso ».[1]

604. — Somiglianti pioggie meteoriche sono state osservate il 13 novembre 1833 in Connecticut (America del Nord), dove in un solo luogo di osservazione si contarono nell'intervallo di 9 ore non meno di 240 mila stelle cadenti. L'anno appresso il fenomeno si riprodusse nello stesso giorno, ma con meno splendore ed in numero minore di meteore osservate; e così per parecchi anni.

Simili ricorrenze regolari di sciami di stelle cadenti, benchè in dimensioni più modeste, possono osservarsi ogni anno in certi giorni determinati, specialmente circa il 10 agosto ed il 13 novembre. L'astronomo Olbers, comparando la pioggia suddetta del novembre 1833 con quella veduta dall'Humboldt e Bompland in Cumana 12 novembre 1799, e tenendo conto di un simile fenomeno, osservato in America nel 1766, osò congetturare un ritorno del medesimo pel 1867, come difatti avvenne.

Da quei tempi gli astronomi cominciarono ad osservare con maggiore attenzione un fenomeno, che da tempi remotissimi si credeva di dominio quasi esclusivo della fisica terrestre, ossia della meteorologia, e del quale ora invece si riconobbe l'origine oltre-atmosferica.[2] Riservando a luogo più opportuno le ricerche sulla costituzione della materia cosmica che com-

(1) « Astron. Nachrichten », num. 2711; cf. 2696, 2697, 2702, 2720.

(2) Secondo l'opinione degli antichi le stelle cadenti erano emanazioni terrestri, le quali arrivando alla cosidetta *sfera del fuoco* (num. 331) nelle regioni superiori dell'aria si accendevano.

Digitized by Google

pone quelle meteore, trattiamo qui soltanto quello che riguarda le loro traiettorie ed orbite.

Fin dal 1825 il *Brandes* avea accennato il nesso che dovea esistere tra questi fenomeni regolarmente ricorrenti ed il moto planetario della Terra (num. 435). Similmente l'*Herrick* (1838) e più tardi il *Bompas* (1857) spiegarono dietro gli stessi principii l'insieme delle curiose apparenze delle stelle cadenti. Fu però riservato all'insigne astronomo italiano *G. Schiaparelli*[1] di richiamare l'attenzione sopra quelle spiegazioni quasi dimenticate, e di dare un'esposizione luminosa e completa dell'intricato fenomeno.

605. — La prima cosa degna di nota, che fu osservata nell'andamento complessivo di queste meteore, è la frequenza eccezionale; la seconda la **periodicità**, la quale è di doppio genere. Si è trovato primieramente, che certe pioggie meteoriche ritornano con maggiore o con minore intensità alla medesima data o a date poco differenti del calendario civile. Oltre i giorni già citati (10 agosto e 13 novembre), furono notati il 2 gennaio, il 20 aprile, il 20 ottobre, ed i primi giorni di dicembre. In tutti questi fenomeni il ritorno è legato ad un periodo annuale, il quale non è già l'anno tropico del calendario civile, ma l'anno siderale; cioè indipendente dalle stagioni terrestri, la ricorrenza sembra dovuta ad una determinata posizione della Terra nella sua orbita: circostanza che per sè sola già accenna all'origine cosmica delle stelle cadenti.

L'altra specie di periodicità riguarda l'intensità dei ritorni annuali. Percorrendo i catalogi delle antiche apparizioni, il prof. H. A. Newton fu in grado di additare altri ritorni del fenomeno del (12-14) novembre avvenuti negli anni 902, 931, 934, 1002, 1101, 1202, 1366, 1533, 1602, 1698, i quali accennano con molta certezza ad un periodo di 33 anni ed un quarto. Similmente il fenomeno annuale del

(1) *Le stelle cadenti.* Tre letture di G. V. SCHIAPARELLI, Milano 1873. La nostra spiegazione non è che un compendio delle medesime; anzi abbiamo adoperate in gran parte le medesime parole dell'autore. Schiaparelli espone per la prima volta, nel 1866, i risultati dei suoi lavori in varie lettere al P. Secchi, il quale vedendo la loro grande importanza, le pubblicò nel « Bollettino Meteorol. del Collegio Romano ».

Digitized by Google

10 agosto sembra soggetto ad un aumento d'intensità ogni 100 o 110 anni.

606. — Un fatto non meno importante e caratteristico che accompagna l'apparizione delle stelle cadenti, è quello della **radiazione,** scoperto nel 1833 da parecchi osservatori americani in occasione dell'accennato spettacolo del 12 novembre.

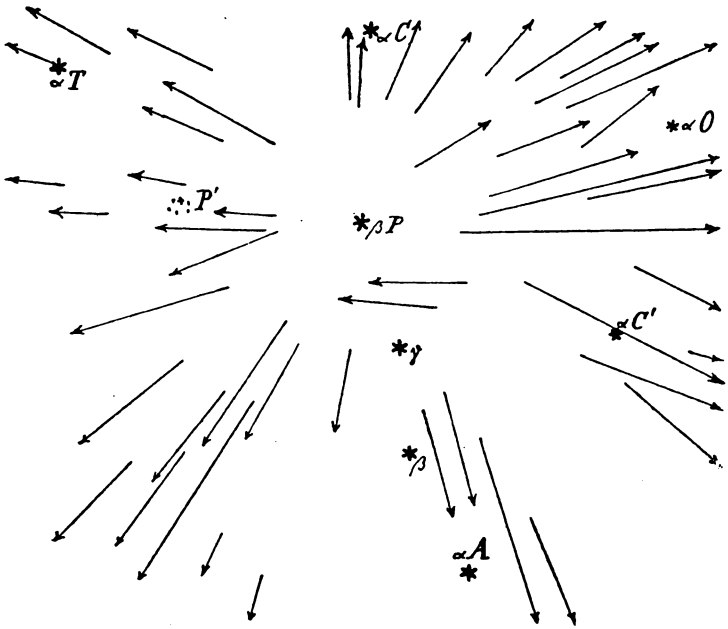


Fig. 286. Stelle cadenti osservate in Roma il 10 agosto 1894.

Consiste in ciò, che la maggior parte delle traiettorie, ossia delle linee luminose tracciate sul cielo dalle singole meteore, sembra divergere da un punto unico, o meglio, da uno spazio ristretto della sfera celeste, dal quale irradiano verso tutte le direzioni, come vedesi nella figura 286, che mostra un numero di meteore osservate da noi stessi il 10 agosto al nostro osservatorio sul Gianicolo.(1)

(1) Le lettere latine della figura indicano le principali costellazioni: P (Perseo), P' (Pleiadi), A (Andromeda), C (Cocchiere), C' Cassiopeia), T (Toro).

Digitized by Google

Questo punto più o meno definito in tutti gli sciami meteorici, chiamasi il **Radiante** delle meteore. Esso seguendo senza spostamento parallattico il movimento apparente diurno della sfera celeste, testifica di nuovo indubitatamente l'origine cosmica delle stelle cadenti. L'identità della direzione, in cui osservatori distanti fra loro centinaia e migliaia di chilometri vedono il radiante, dimostra d'altronde, che l'apparente divergenza delle traiettorie non è altro che un effetto di prospettiva; cioè quelle linee luminose in realtà sono completamente parallele nello spazio. Come le linee parallele delle guide di una strada ferrata (dritta), dei fili telegrafici coi loro sostegni disposti lungo le vie (Fig. 287) sembrano tutti convergere in un punto (centro di prospettiva), così quelle linee luminose, tracciate dalle stelle cadenti sul fondo oscuro del cielo, di fatto non sono altro che il risultato della caduta di corpuscoli, i quali dallo spazio planetario cadono sopra la Terra in direzioni parallele tra loro.

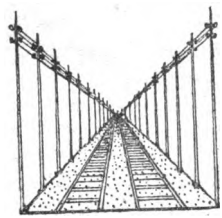


Fig. 287.

607. — Abbiamo già accennato di sopra (num. 435) le modificazioni, che la traslazione e rotazione della Terra cagionano al fenomeno, e come viceversa queste modificazioni realmente osservate, possano formare un nuovo argomento in conferma di questi movimenti planetari del nostro globo terrestre. Insomma gli sciami meteorici rappresentano vere **correnti di materia cosmica,** delle quali molte talvolta hanno un'estensione laterale maggiore del diametro terrestre. Queste correnti intersecano in certi punti l'orbita terrestre, sotto varii angoli, formati dalla direzione dei raggi visuali del Radiante e dell' **Apice** del moto terrestre, ossia dalla direzione della corrente meteorica e quella della tangente, condotta all' orbita terrestre dal punto, dove attualmente trovasi la Terra. Gli sciami stessi formano anelli ellittici, a foggia delle orbite cometarie; anzi pare oramai accertato, che essi non sono altro che residui più o meno densi di materia cometaria, sparsa per le rispettive orbite, la quale, come le comete stesse, continua a percorrere con

Digitized by Google

grande velocità, specialmente vicino al perielio, la medesima orbita.

608. — Posto ciò, è cosa facile rendersi conto di **tutte le particolarità,** osservate in quei fenomeni, poco tempo fa ancora così misteriosi. Infatti rappresentiamo (Fig. 288) col circolo intorno al centro T il globo terrestre; S T indichi la direzione dei raggi solari, T A la direzione dell'apice, l'angolo S T A (giacente nel piano dell'eclittica) sarà presso a poco un angolo retto. La longitudine di A sarà quindi sempre uguale a quella del Sole, diminuita di circa 90°; cioè

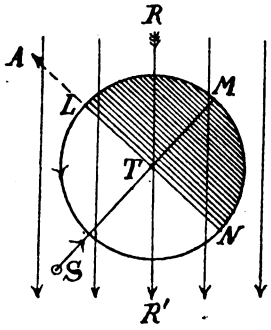


Fig. 288.

$$\text{long. } A = \text{long. } ☉ - 90°.$$

Il punto L, dove il Sole si leva sull'orizzonte, ha l'apice al Meridiano; in M sarà mezzanotte, in N incomincia la notte col tramontar del Sole (S). Ora qualunque sia la direzione del radiante R, dal quale le stelle cadenti, in direzione parallela ad R R′, invadono l'atmosfera, è evidente, che il globo terrestre, a cagione della sua rotazione e traslazione, espone successivamente diverse parti della sua superficie alla percossa di quei corpicciuoli, i quali però si disfanno e si disperdono nell'atmosfera, senza arrivare, se non in casi eccezionali, alla superficie della Terra. L'urto principale avrà luogo nella regione di L; in N invece si osserveranno le meteore in numero minore; presso M la frequenza sarà media. Una ragione però, perchè in L si osserva praticamente un numero di meteore minore di quello dedotto dalla teoria, trovasi in ciò, che l'aurora ivi molto avanzata eclissa in gran parte il fenomeno; donde in realtà si osserva il maggior numero tra L ed M, ossia tra la mezzanotte e le ore mattutine.

Di più segue da queste considerazioni, che le velocità della Terra (30 km. in 1ˢ) e delle meteore (circa 40 km.) si sommeranno, quando l'apice A coincide col radiante R; che si elidono in gran parte, quando T A e T R formano un angolo di circa 180°. Nel primo caso (quello delle *Leonidi*, 14 no-

Digitized by Google

vembre [1] le stelle cadenti sono luminosissime, ma di poca durata; nel secondo invece (quello delle *Bielidi*, 27 novembre) esse brillano con luce fiacca, ma mostrano strisce più lunghe e maestose.

Finalmente si spiega molto naturalmente la periodica ricorrenza delle cosidette pioggie meteoriche, dovuta all'incontro della Terra con parti più dense delle armille cosmiche.

609. — Come lo sciame meteorico del 27 novembre mostra un nesso innegabile colla cometa di Biela (III. 1852), così quello delle Perseidi (10 agosto), col suo periodo maggiore di 33 anni, sembra raggrupparsi lungo l'orbita della cometa di Tempel (III. 1862), quello delle Leonidi (12 nov.)

(1) Il nome di *Leonidi*, *Andromedidi*, *Perseidi*, ecc., allude al rispettivo radiante, che trovasi nella costellazione del *Leone* (tra γ e μ), dell'*Andromeda* (presso γ), del *Perseo* (presso γ), ecc. Il prof. americano Daniele Kirkwood, fin dal 1861, travedendo il vincolo che connette le stelle cadenti colle orbite cometarie, propose di chiamarle semplicemente *Cometoidi* ($\varepsilon\tilde{\iota}\delta o\varsigma$ = simile). Si adopera quindi anche il nome di *Bielidi* per indicare il nesso esistente tra le *Andromedidi* e la cometa di Biela. Questa cometa fu scoperta nel 1826 dal comandante austriaco Gugl. Biela nella Boemia. Il calcolo dell'orbita dimostrò, che trattavasi di una cometa periodica di breve periodo (6 anni 8 mesi), la quale era già stasa osservata nel 1772 e di nuovo nel 1805. Fin dal 1826 e 1832 si parlò di un urto possibile della cometa colla Terra. Invece le posizioni relative della Terra e della cometa impedirono le osservazioni fino al 1845, quando la cometa fu di nuovo osservata. Nel dicembre del medesimo anno essa si era divisa in due parti, le quali a piccola distanza fra loro, continuavano a muoversi con velocità presso a poco uguale. Al ritorno prossimo 1852 le due parti della cometa furono scoperte di nuovo, ma la loro distanza era già di circa $1\frac{1}{2}$ milione di miglia.

Nei ritorni del 1859 e 1865 le parti della cometa furono cercate invano; l'invisibilità però sembrava abbastanza spiegata per le posizioni della Terra poco favorevoli a tale osservazione. Il ritorno del 1872 era più promettente; ma invece delle comete gemelle si osservò (27 nov.) quella stupenda pioggia di stelle descritte di sopra (num. 602).

L'astronomo tedesco Klinkerfues di Göttingen, travedendo, di che si trattava (30 nov.), spedì all'astronomo Pogson di Madras nelle Indie orientali il seguente telegramma: « *Biela touche la Terre! Cherchez près τ Centauri* ». Infatti il Pogson, impedito dal tempo, trovò alcuni giorni dopo una cometa nella direzione indicata dell'Antiapex; ma le osservazioni non poterono continuarsi, donde rimane incerto, se trattavasi veramente della cometa Biela o di qualche altra, rimasta sconosciuta.

Digitized by Google

lungo quella di Tuttle (I. 1866).[1] Gli elementi di queste tre comete sono i seguenti:

ELEMENTI	Cometa Tempel (Perseidi)	Cometa Tuttle (Leonidi)	Cometa Biela (Andromedidi)
☊ = Nodo ascendente	137° 27′	231° 26′,1	245° 51′
i = Inclinazione . .	113° 35′	162° 41′,9	12° 33′
π = Long. del Perielio	290° 13′	42° 24′,2	109° 8′
q = Distanza del »	0,9626	0,9765	0,861
t = Passaggio al »	23 agosto	11 gennaio	23 settembre
a = Semiasse magg.	24,9	10,32	315
p = Periodo . . .	anni 123,4	anni 33,2	anni 6,6
e = Eccentricità . .	0,961	0,9054	0,756
m = Senso del moto.	diretto	retrogrado	diretto

610. — Oltre questi sciami più notevoli ve n'ha un buon numero di altri meno cospicui, anzi fin dal 1868, secondo il catalogo di Greg,[2] 132 radiazioni diverse erano già state osservate nel solo emisfero boreale. Basta enumerarne alcune

Data	gennaio 1–3	aprile 12–13	aprile 19–23
Radiante . . .	ν Ercole	β Lira	α Lira
Data	luglio 26–29	ottobre 19–25	dicembre 6–13
Radiante . . .	Cigno	Orione, Toro Gemelli	♑ Gemelli

(1) Questa cometa fu scoperta indipendentemente dal Tempel (19 dicembre 1865) e dal Tuttle in Washington (5 gen. 1866); donde meritamente porta anche il nome dello stesso Tempel. I numeri in parentesi (I. 1866) indicano, che la cometa era la prima che passò al perielio nel 1866.

(2) *List of radiant-points of meteoric showers in the northern hemisphere.* British Assoc. Rep. 1868, 401. — Vedi anche: *Annuaire du Bureau des Longitudes* 1895, 140.

Digitized by Google

Pare quindi abbastanza provato, che le stelle cadenti periodiche consistono in una serie di materia cosmica sparsa lungo la loro orbita. Quest'orbita è una delle sezioni coniche nel foco delle quali si trova il Sole. Quando la Terra nel suo moto di traslazione intorno al Sole si avvicina a quelle orbite, ovvero interseca le medesime, si osserva una pioggia di stelle cadenti, la quale sarà straordinariamente grande, quando allo stesso tempo una nube più densa di detta materia (percorrendo regolarmente l'orbita sua) incontra la Terra. Sembra poi assai probabile, che quella materia in certi casi debba considerarsi come materia residua di una cometa disfatta e dissipata.(1) Quindi anche la determinazione di queste orbite armillari meteoriche sarà quasi identica a quella delle orbite cometarie. Basterà, generalmente parlando, osservare la velocità e direzione delle meteore, per calcolare l'orbita rispettiva. Quanto però è facile la determinazione della direzione, tanto è difficile quella della velocità, attesa la brevissima durata del fenomeno e la rapidità del movimento, modificato dalla pressione contraria dell'atmosfera e dell'attrazione del globo terrestre. Il professore Heis, il P. Secchi ed altri (per mezzo di osservazioni simultanee in due stazioni diverse) hanno calcolato delle velocità da 30, 50 fino a 70 km. per secondo; anzi vi possono essere velocità tali, da supporre che i rispettivi corpicini vengano in orbite paraboliche ovvero iperboliche dagli spazi ultra-planetari.(2)

611. — Se è vera la teorica esposta, si potrà provvedere con qualche certezza il ritorno di una straordinaria caduta di meteore, come può predirsi il ritorno di una cometa periodica. Difatti sono state previste le pioggie meteoriche del 1885 (n. 603) e del 1892. Stante però l'incertezza che cause av-

(1) Tra le molte cose indovinate dal grande Keplero dovrebbe quindi annoverarsi anche questa, poichè egli scrisse: « Existimo, corpus cometae perlui, colari, atteri et denique annihilari, et sicut bombyces filo fundendo, sic cometas cauda exspiranda consumi et denique mori ». Op. om. Kepl. VII, 110.

(2) Siccome lo scopo di questo libro e lo spazio concessoci non permettono un ulteriore sviluppo dell'interessante problema, rimettiamo il lettore, bramoso di questo, al bel lavoro del prof. dott. G. D. E. Weyer: *Elementare Berechnung der Sternschnuppenbahnen um die Sonne*, « Astron. Nachrichten » 1886, num. 2744.

Digitized by Google

ventizie possono cagionare nell'andamento di quella materia così vasta e sottile, i veri scienziati sogliono usare molte riserve in tali predizioni. Così per esempio lo Schiaparelli, parlando del probabile ritorno dello sciame del 27 novembre 1872 per il 1892 s'esprimeva così: « Non diremo che intorno al 26 e 27 novembre 1892 *accadrà* un'altra gran pioggia meteorica; ma piuttosto che in quell'epoca *si dovrà stare attenti per vedere*, se una tal pioggia veramente si produca ».[1] Difatti la pioggia avvenne non il 27, ma il 23 novembre 1892, donde si vede che lo sciame è stato soggetto a qualche perturbazione, dovuta probabilmente all'attrazione del pianeta Giove, specialmente nel 1890.

Non può quindi recare meraviglia, che il ritorno delle Leonidi e Bielidi, le quali si aspettavano più splendide pel 1899 ovvero 1900, e pel quale si fecero perfino delle spedizioni scientifiche straordinarie in varie parti del globo, non si sia verificato affatto. Forse i rispettivi nuclei della materia cosmica hanno subito un notabile spostamento, ovvero sono talmente esauriti, che non possono fornire quelle splendide manifestazioni, che già tante volte esibirono allo spettatore terrestre. Ad ogni modo il perfezionamento della teoria ha ancora bisogno di nuovo materiale di osservazioni esatte.[2]

Corollario I. — Traiettoria dei Bolidi e degli Aeroliti.

612. — Tra le stelle cadenti, siano periodiche, siano sporadiche, se ne osservano alcune di uno splendore straordinario, i frantumi delle quali spesse volte arrivano fino alla superficie della Terra. Sembrano quindi composte d'una materia tanto compatta, che neppure il calorico, sviluppato nel loro passaggio per l'atmosfera, è capace di dissiparle del tutto. Sono veri

(1) *Sulla grande pioggia di stelle cadenti del 27 nov. 1885.* « Istituto Lomb. » 10 dic. 1885.

(2) Anche i dilettanti di ricerche astronomiche trovano qui un bel campo per la loro attività, notando esattamente il numero di meteore osservate, la data, l'ora precisa, i punti del cielo dove cominciano a farsi vedere e quello dove scompariscono, il grado di splendore, la velocità, il colore e simili cose notabili. Cf. Denza, *Norme per le osservazioni delle meteore luminose.* Torino 1870. (In quanto alle proiezioni da farsi sopra carte celesti, vedi num. 74).

Digitized by Google

sassi (λίθος), accesi nell'aria (ἀήρ) che copre la Terra, i quali a cagione della materia esplosiva che contengono, con iterati e fragorosi scoppi penetrano talvolta a foggia di pericolosi proiettili (βολίδες) profondamente nel terreno da essi colpito. Fortunatamente questi pezzi di artiglieria uranica sono abbastanza rari, ma tutta la differenza che esiste tra essi e le ordinarie stelle cadenti, sembra consistere nella maggiore densità della massa cadente. Riservando al libro seguente dell'Astrofisica, uno studio più minuto della loro costituzione, notiamo qui soltanto le speciali difficoltà, che offrono ad una esatta determinazione della loro orbita.

La velocità dei bolidi viene molto ridotta dalla pressione contraria degli strati atmosferici più densi, i quali formano una provvida corazzata contro quei colpi pericolosi. La forma più o meno irregolare, ma specialmente gli scoppi, che di tempo in tempo si ripetono, alterano considerevolmente la direzione della traiettoria.

Cresce quindi la difficoltà di osservare simultaneamente la stessa parte della medesima in due stazioni abbastanza distanti, di proiettare un'identica striscia luminosa sopra la sfera celeste, di fissare il Radiante sulla medesima.

Corollario II. — Collisione della Terra con una cometa.

613. — Ammessa l'identità delle orbite meteoriche con quella delle comete, la questione d'una possibile collisione di una cometa colla Terra, agitata già parecchie volte nei tempi passati, ha acquistata nuova attualità. Anzi nel caso delle Bielidi una tale collisione ha avuto luogo, senza che il nostro pianeta ne abbia sofferto danno veruno. Già prima del 1872 si parlò più volte di un urto prossimo della cometa colla Terra, e se ne descrissero fantasticamente i terribili effetti. Infatti un incontro del nucleo cometario colla Terra sarebbe da temersi soltanto in quegli anni, nei quali la cometa viene in prossima vicinanza al Sole verso la fine del mese di dicembre. Se non ci fossero stati quei disturbi e quelle perturbazioni e dissipazioni già accennate della sua materia, un incontro colla parte più condensata potrebbe temersi, per es., nel principio di dicembre del 1933 e per la fine dello stesso mese nel 2115.

Digitized by Google

Sarebbe però, come nota bene il Celoria,[1] presunzione ed ignoranza ad un tempo, il predire allora un urto della cometa colla Terra.

D'altronde non si può negare, che le stesse parole del Vangelo, dove Cristo predice la fine del mondo, alludono a qualche catastrofe somigliante. « Noi non possiamo sapere », dice il P. Secchi, « se malgrado la corazza, da cui siamo protetti, non possa darsi il caso che masse considerevoli riuscir possano a perforare la nostra Terra ed a danneggiarla seriamente. Un tal pensiero mi tiene nella debita riserva e solleva la mia mente alla potenza dell'Autore della natura che ha a sua disposizione mezzi così terribili per annientarci. Ma insieme mi dà fiducia che Esso, il quale ci ha fornito di un riparo per difenderci dalle ordinarie invasioni (degli aeroliti), non abbia destinato che, seppure un tal mezzo è quello che debba portare la distruzione della nostra specie nel nostro globo, ciò non sia per essere a tempo nostro ».[2]

CAPITOLO V.

ORBITA DEL SOLE.

614. — Per orbita solare una volta s'intendeva l'orbita apparente del Sole, la quale, come abbiamo mostrato di sopra (num. 429 sgg.), non è altro che l'orbita reale della Terra intorno al Sole. In tutte quelle considerazioni dei moti planetari intorno a quest'astro centrale, noi abbiamo tacitamente supposto, che il Sole stesso sia senza moto sensibile nello spazio. Ora bisogna rettificare anche questo concetto.

(1) *Le Comete*, Milano 1873, pag. 65.

(2) *Accadem. Tiber.* 10 marzo 1873. — Similmente si esprime il celebre Halley: « Collisionem vero vel contactum, tantorum corporum ac tanta vi motorum (quod quidem manifestum est, minime esse impossibile) avertat Deus Optimus Maximus! ». Celoria l. c. 97. — Vedremo poi nel libro seguente dell'Astrofisica, dove esaminiamo la costituzione intima dei nuclei cometari, che questi generalmente parlando sono masse così insignificanti, che oltre una grande pioggia di stelle cadenti ed una forte burrasca nell'atmosfera terrestre, serii danni al nostro pianeta non sembrano da temersi neppure nel caso d' una collisione propriamente detta.

Digitized by Google

Se il Sole (o meglio il centro di gravità del nostro sistema planetario) [1] ha un moto di traslazione attraverso gli spazi stellari, questo deve manifestarsi per lo spostamento apparente delle stelle. Quando noi camminiamo di notte tempo per una strada, illuminata da lampioni, questi, per il noto effetto di prospettiva (cf. Fig. 287, pag. 564), benchè siano disposti in linee parallele ed a distanze simmetricamente uguali dal punto centrale di prospettiva, sembrano tanto più riavvicinati quanto sono più distanti dall'occhio. Per il moto dello spettatore quelle distanze apparenti crescono verso l'apice del moto, diminuiscono verso l'antiapice. Ora precisamente lo stesso deve accadere, se noi, con tutto il sistema solare, avanziamo verso una certa parte del cielo stellato, allontanandoci dalla parte diametralmente opposta. Le stelle fisse dovranno apparentemente in senso radiale allontanarsi dall'**Apex**, avvicinarsi all'**Antiapex** di questo moto. [2] La posizione di questi due punti rimarrà costante, se il moto è sensibilmente rettilineo; mostrerà invece uno spostamento continuo, se il moto è curvilineo, dovendo i detti punti trovarsi sempre nella direzione della rispettiva tangente alla curva.

615. — Quello che rende queste ricerche un poco complicate, sono i vari moti apparenti, alle quali le stelle fisse sono già soggette a cagione dell'aberrazione della luce (num. 430), della parallasse (num. 433), della precessione (num. 439) e della nutazione (num. 448); ma sopratutto si dovrà tener conto dei moti proprii reali delle stesse stelle. Tuttavia si vede facilmente la possibilità di separare tutte queste cose dall'anzidetto moto apparente, che deve farsi in un senso determinatissimo. Infatti si è potuto accertare in questa maniera, che il sistema solare si sposta veramente, e che l'apice dello spostamento trovasi presso la costellazione di Ercole. In quanto al punto preciso, le ricerche fatte da molti astronomi, dal tempo di Guglielmo Herschel fino ai giorni

(1) A cagione dell'attrazione scambievole tra il Sole ed i pianeti, il Sole descrive pure una piccola ellisse intorno al comune centro di gravità.

(2) Geometricamente si spiegherebbe l'apparenza anche per uno spostamento simultaneo di tutte le stelle nel senso contrario, rimanendo il Sole fisso; ma quale delle due ipotesi sia fisicamente da preferirsi non vi sarà dubbio.

Digitized by Google

nostri, dànno risultati non poco differenti. Il prof. Kapteyn di Gröningen, dopo una discussione di tutto il materiale accumulato dai vari scienziati, assegna come risultato finale **le coordinate** seguenti: Ascens. retta 275°, Decl. + 45°, le quali indicano un punto non molto lontano dalla stella brillante α Lyrae. (1)

616. — Finchè le osservazioni non siano arrivate a designare indubitatamente l'apice rispettivo del moto solare per epoche abbastanza distanti, sarebbe prematuro volere parlare di un'orbita solare, curvilinea e forse chiusa, a foggia delle orbite planetarie; molto più prematuro sarebbe, volere tra le stelle fisse assegnare una stella particolare come « **Sole centrale** », intorno al quale giri il nostro sistema.

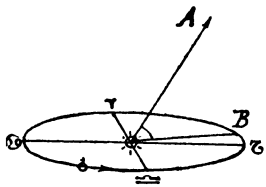


Fig. 289.

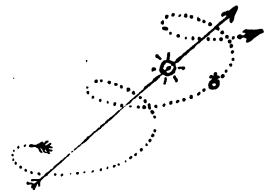


Fig. 290.

Un tempo si parlava molto della stella principale nella costellazione delle Pleiadi (Alcyone, η Tauri), la quale secondo le deduzioni del Mädler (2) sarebbe da considerarsi come vero centro, non soltanto dell'orbita solare, ma di tutto l'universo, intorno al quale il nostro sistema solare compirebbe in molti milioni d'anni una rivoluzione completa. Senza

(1) Questo risultato combina abbastanza con quello d'una discussione indipendentemente fatta dal prof. Boss, il quale trova A R = 273°,6 ± 1°, 3 ; Decl. = + 29°,5 ± 1°, 1. (*Astron. Nachr.* num. 3859). Tuttavia la grande variabilità dei vari risultati, pubblicati da non pochi astronomi in tempi diversi, mostrano abbastanza, che quantunque il fatto del moto e la sua direzione in generale siano accertati, sul punto preciso rimangono ancora delle incertezze, del resto ben comprensibili.

(2) *Die Centralsonne.* Dorpat 1846. — L'orbita solare avrebbe secondo Mädler relativamente all'equinozio 1840,0 un' inclinazione di 84° con la longitudine del nodo ascendente 236° 58′. Il periodo d'una rivoluzione si compirebbe in 22 ½ milioni di anni, con un moto angolare apparente di 5″,82 in un secolo!

Digitized by Google

entrare qui in un esame minuto delle dotte ricerche fatte dal Mädler, basti dire che i risultati, quantunque abbiano acquistata una certa popolarità, sono state confutate da una critica scientifica più severa. L'idea del Sole centrale per ora è stata abbandonata dagli astronomi. Ci vorranno forse secoli di ulteriori osservazioni, per poter constatare con certezza l'eventuale **curvatura** dell'orbita solare.

Intanto le figure 289 e 290 possono dare un'idea del moto solare relativamente all'orbita terrestre. La prima mostra la direzione del moto riferita all'eclittica; l'altra il moto assoluto risultante.

617. — Anche la questione sulla **velocità**, colla quale il sistema solare progredisce nello spazio, deve considerarsi come molto problematica, a cagione del moto proprio delle stelle fisse, ancora troppo poco conosciuto. Qui l'Astrofisica, e specialmente lo spettroscopio, come già accennammo di sopra (n. 435), debbono venire in aiuto all'Astromeccanica. Avremo quindi occasione di ritornare su questo punto nel libro seguente. Il già lodato Kapteyn [1] da simili osservazioni dedusse come valore medio la velocità di $31{,}1 \pm 2{,}2$ chilometri in un secondo, la quale sarebbe quindi poco differente da quella della Terra nella sua orbita relativa intorno al Sole. Con questi risultati abbastanza assicurati, le ricerche sui moti proprii delle stelle fisse sono senz'altro entrate in uno stadio di maggiore perfezionamento.

CAPITOLO VI.

ORBITE DELLE STELLE.

618. — Come il nostro Sole, che per la sua luce propria si rassomiglia tanto alle stelle, è dotato di moto proprio attraverso gli spazi sterminati del cielo, così le stesse stelle, dagli antichi chiamate stelle fisse, perchè credute immobili, non sembrano scevre di moti proprii. È vero che questi moti sono così microscopici, che sfuggono all'attenzione d'un osservatore

(1) *Astron. Nachr.* 1898, num. 3487.

Digitized by Google

ordinario, ma osservati per periodi abbastanza lunghi, per mezzo dei micrometri dei nostri grandi telescopi moderni, anch'essi si manifestano indubitatamente, rivelando allo stesso tempo che la grande e semplicissima legge Newtoniana della gravitazione universale, è veramente una legge dell' Universo.

Fig. 291.

Uno dei primi che fece la scoperta di tali moti proprii delle stelle fu il celebre Halley, il quale (circa il 1700) confrontando la posizione di Sirio, Arturo, Aldebaran ed altre stelle, date dai cataloghi anteriori, trovò che queste posizioni a suo tempo non erano più le medesime, benchè si tenesse conto di tutte le cause accidentali (precessione, aberrazione della luce, ecc.); d'altronde sembrava impossibile attribuire quegli spostamenti ad errori di osservazione o di calcolo.

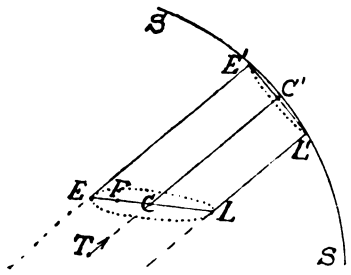


Fig. 292.

619. — Osservando certi sistemi di stelle doppie, triple e multiple, si scopre facilmente che il cambiamento della relativa posizione delle stelle che li compongono, non può essere un mero effetto di prospettiva, ma che esiste un vero vincolo fisico di attrazione scambievole, che tiene uniti quei piccoli gruppi. (1)

Consideriamo, per es., la stella doppia ξ dell'Orsa maggiore, della quale la figura 291 mostra la posizione relativamente

(1) I sistemi ottici forniscono un metodo facile di determinare la parallasse nel caso che una delle due stelle trovasi molto più vicina alla Terra che l'altra.

Digitized by Google

alle altre stelle della medesima costellazione;[1] ξ è la stella principale, collocata nel foco d'una ellisse, percorsa dalla secondaria ξ' nel periodo di circa 60 anni. Siccome però quest'**ellisse vera** E L (Fig. 292), dalla Terra T è veduta in iscorcio, noi osserviamo direttamente un'altra **ellisse apparente** E' L', proiezione della prima sul fondo del cielo. L'ellisse apparente E' L' sarà evidentemente la base di un cilindro, tagliato (normalmente all'asse C C', ossia alla linea visuale) dalla superficie della sfera celeste S S. E L sia l'asse maggiore dell'ellisse vera, F il foco, nel quale si trovi la stella ξ; cosicchè E rappresenti il periastro, L l'apastro; allora E' L' necessariamente rappresenterà la proiezione dell'asse maggiore. Si noti però, che E' L' ordinariamente non apparisce come asse maggiore dell'ellisse apparente proiettata.

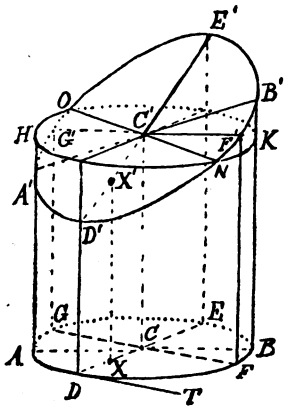


Fig. 293.

620. — Pertanto l'ellisse A D B E (Fig. 293) rappresenti l'accennata proiezione ortogonale dell'ellisse vera A' D' B' E', descritta dalla stella ξ' intorno alla principale ξ. X sia la proiezione di questa stella ξ, la quale si trovi nel foco X' dell'ellisse vera, cosicchè D' E' passante per X' e pel centro C', rappresenti l'asse maggiore dell'ellisse vera, D E la proiezione del medesimo. Essendo determinati i punti X, proiezione di X', e C, proiezione di C', sarà pure determinata la **direzione dell'asse maggiore proiettato** D E. Il rapporto D X : X E = = D' X' : X' E' fornisce senz'altro l'**eccentricità** dell'ellisse vera.

D E non può essere maggiore di D' E'; l'asse maggiore D' E' dell'ellisse vera è necessariamente maggiore di qua-

(1) Tanto la stella ν, quanto la ξ, ambedue di IV grandezza, che sembrano all'occhio nudo stelle semplici, vedute nel telescopio si sdoppiano, rivelando la presenza di piccole compagne (di V grandezza). Le frecce che si vedono nella figura applicate alle stelle principali α, β, γ, ecc., indicano moti propri delle medesime (vedi I, Corollario).

Digitized by Google

lunque diametro; quindi $D'E' > A'B'$. Si noti poi, che la proiezione F G dell'asse minore è necessariamente parallela a D T, tangente in D dell'ellisse proiettata.

Ciò premesso, per trovare la relativa posizione del piano insieme coi vari **elementi dell'orbita** dell'ellisse vera, potremo servirci del seguente metodo grafico abbastanza semplice.[1] Costruiamo sopra un cartone un'ellisse che abbia un asse maggiore qualunque $A'B'$, ma l'eccentricità della quale sia uguale a quella data dal rapporto $XC : DC$. Quest'ellisse sarà simile alla vera, ma minore; poichè $AB < A'B' < D'E'$. Staccando il dischetto ellittico dal cartone con contorni ben tagliati, lo collochiamo col suo centro C' perpendicolarmente al disopra di C, cosicchè la direzione $(D'E')$ del suo asse maggiore si trovi nel piano verticale $DEE'D'$, determinato dalla perpendicolare $C'C$ e dal diametro D E che passa per X; l'asse minore si mette nel piano determinato da $C'C$ e $GF \parallel DT$.

Ponendo l'occhio al di sopra di C' nella direzione CC', non sarà difficile di manovrare col disco ellittico in modo tale che la sua proiezione (ortografica) sia perfettamente parallela all'ellisse proiettata.[2] La posizione, dove accade questo, sarà la posizione dell'orbita vera, relativamente a quella proiettata od apparente.

La linea N O, passante per C', essendo la linea d'intersezione col piano $HNKO \parallel ADBE$, sarà la linea dei nodi;[3] l'angolo $KNB' = \measuredangle i$, rispettivamente il suo complemento $(90° - i)$

(1) Il problema studiato da valenti astronomi (Savary, Encke, Villarceau, Herschel, Klinckerfues, Thiele, ecc.), trattato analiticamente richiede un grande apparato di formole e calcoli. Il metodo di Encke obbliga alla soluzione di 44 equazioni differenziali, e ciononostante il risultato ottenuto, a cagione dell'imperfezione delle osservazioni, fatte sopra scala così piccola, non risponde a tanto lavoro. Cf. C. Flammarion, « Etudes et lectures sur l'Astronomie », tome VI, Paris 1875, p. 148 segg. Notiamo però che la possibilità fornita dallo spettroscopio (num. 435), di misurare lo spostamento delle stelle nella direzione dello stesso raggio visuale, ha apportato nuovi perfezionamenti ai metodi finora usati.

(2) Questo si potrà in pratica ottenere o per mezzo dell'ombra (ortogonale) o per mezzo di piombini, calati dai contorni. Anche una proiezione fotografica dà buoni risultati.

(3) Rimane però indeciso quale sia il nodo ascendente, quale il discendente; poichè anche un' ellisse inclinata inversamente, avrebbe la stessa proiezione.

Digitized by Google

misurano l'inclinazione; l'angolo D'C'N, formato dalla linea dei nodi e dall'asse maggiore, determina la posizione dell'ellisse vera nel detto piano. Dall'asse maggiore si contano le varie anomalie (n. 474) nel modo solito. Il passaggio della stella per D' (in apparenza per D) nota il passaggio al periastro. Due appulsi consecutivi al medesimo determinano il tempo periodico di una rivoluzione.[1] Per epoca si suol prendere il tempo, al quale la distanza delle due stelle sembra minima.

Saranno così determinati i sette elementi delle orbite delle stelle doppie, cioè l'asse maggiore,[2] l'eccentricità, il nodo, l'inclinazione, la longitudine del nodo, il tempo periodico e l'epoca.

621. — Nella discussione precedente, noi abbiamo supposto, che le orbite delle stelle doppie (e multiple) siano governate dalla legge della gravitazione universale, e conseguentemente soggette alle leggi Kepleriane. Che la cosa sia veramente così, lo prova l'armonia di questa ipotesi colle osservazioni fatte. È vero che queste osservazioni non arrivano ad un grado di precisione, il quale escluda assolutamente la possibilità di qualche modificazione della legge universale in certi casi particolari. L'apparente distanza delle stelle da misurarsi in moltissimi casi è minore di un mezzo minuto in arco, mentre il tempo di una rivoluzione supera talvolta centinaia di anni. Si possono quindi trascurare le correzioni relative, della rifrazione, aberrazione, nutazione; anche l'influsso della precessione sull'angolo di posizione rimarrà generalmente insensibile: non così quello dell'equazione personale, cioè dell'**errore personale** dell'osservatore nell'apprezzare i varii angoli, ecc.; anzi questo punto richiede un controllo particolare, imperocchè si è trovato, che varie circostanze, specialmente la posizione delle due stelle, relativamente alla verticale,

(1) Questo tempo periodico non è [come nel caso dei pianeti], dato semplicemente dall'asse maggiore.

(2) L'asse maggiore suol esprimersi in secondi (di arco), indicando cioè quel pezzetto di arco, compreso dal medesimo sulla volta celeste. celebri cataloghi di Struve [Catalogus novus stellarum duplicium, ecc. Dorpat 1872, – Mensurae micrometricae stellarum, Pietroburgo 1837] contengono 2640 coppie, la distanza delle quali non supera 32″.

Digitized by Google

come pure i varii colori, esercitano sull'occhio dell'osservatore un certo influsso variabile.

622. — Tra le 800 **stelle multiple** più conosciute vi sono circa 70 sistemi di tre, 12 di quattro, 2 di cinque stelle; uno di almeno sei stelle viene formato dal cosidetto trapezio (ϑ) nella costellazione d'Orione. Tra le stelle triplici è notevole ζ nel Cancro, di cui le tre componenti sono presso a poco della stessa (quinta) grandezza.(1) Talvolta l'occhio nudo vede stelle doppie, le quali osservate nel telescopio si sdoppiano di nuovo, come per es. ε Lyrae colle due componenti ε_1 ed ε_2. Un esempio interessante offre la stella Mizar (ζ) dell'Orsa maggiore: mentre la stelletta vicina Alcor (V grand.) è soltanto otticamente connessa colla principale, quest'ultima nel telescopio si risolve in un sistema fisico(2) di due stelle di II e IV grandezza, distanti circa 14″ l'una dall'altra. La stella più luminosa nei Gemelli Castor (α Geminorum) oltre la compagna, della quale facemmo già menzione di sopra (n. 19), mostra ancora due altre stellette vicine, una di 9,5, l'altra di 11ma grandezza, le quali colla variazione delle loro rispettive distanze di circa 73″ e 197″ indicano abbastanza, che appartengono allo stesso sistema di quattro stelle. In tali sistemi complicati, di masse quasi uguali, le curve descritte dai singoli membri non sono più tanto semplici quanto noi abbiamo supposto nel caso di stelle doppie, delle quali una descriva una ellisse intorno all'altra. I dettagli di tali ricerche si vedano nei trattati speciali.

623. — La teoria delle orbite delle stelle multiple, ha condotto a interessanti scoperte di **compagne invisibili**, le quali a foggia dei nostri pianeti, compiono i loro giri intorno ad una stella fissa. Un esempio classico di questo genere si trova nella stella più brillante tra quelle visibili nelle nostre latitudini, cioè **Sirio** (α *Canis maioris*). Fin dal 1841 BESSEL, osservando certe irregolarità nei moti proprii di questa stella, sospettò la pre-

(1) Altri sistemi triplici sono: φ Cassiopeia, γ Andromeda, 11 Monoceronte, 12 Lince, ξ Libra, ξ Scorpione, μ Boote, γ Vergine, η Corona, μ Lupo. Sistemi di quattro stelle sono: β Lira, β Gemelli, β Poledro, μ Sagittario, γ Lince; sistemi di cinque: ω′ Cigno, 1 Cocchiere, 1 Toro.

(2) Ciò si rileva dalla variazione dell'angolo di posizione, ecc.

Digitized by Google

senza di un altro corpo celeste oscuro. Continuate ed accurate osservazioni misero fuor di dubbio, che Sirio descrive un'ellisse intorno al centro comune di gravità delle due masse. Gli astronomi PETERS († 1873) ed AUWERS proseguirono le ricerche del Bessel, ma prima che i dotti lavori dell'ultimo vedessero la luce, l'insigne ottico americano A. CLARKE (1862) per mezzo del nuovo rifrattore (di 47 cm. di apertura), fabbricato per Chicago, scoprì una piccola stelletta di IX grandezza, circa 10″ distante dalla stella principale.[1] La posizione della compagna mostrò allo stesso tempo la correttezza delle discussioni già fatte; cosicchè questa scoperta teorica, somigliante a quella di Nettuno (num. 409), deve annoverarsi tra i più recenti trionfi dell'astronomia moderna.

624. — Confrontando la teoria colle osservazioni dipoi fatte, Auwers trova, che la massa[2] della stella principale (Sirio) supera soltanto 2,05 volte quella della secondaria, mentre il rapporto della luminosità dei due corpi sta come 16000 : 1. Abbiamo quindi una prova insigne, che l'apparente « grandezza » di una stella, non prova la preponderanza del suo volume o della sua massa relativamente ad un'altra in apparenza più piccola, o meglio della sua massa; similmente le stelle più piccole in apparenza, non sono perciò relativamente più lontane di altre apparentemente più grandi. L'orbita apparente della stella compagna di Sirio è così situata, che la stella principale in certi tempi eclissa la secondaria. Così per esempio nel 1887 questa divenne di nuovo invisibile per ricomparire di nuovo verso la fine del 1896. Il periodo di una rivoluzione intera abbraccia circa 50 anni. Piccole irregolarità nei movimenti potrebbero col tempo palesare l'esistenza d'un terzo astro ancora minore, satellite del compagno. Nello stesso anno 1896 una simile scoperta d'un astro compagno di Procione (*α Canis minoris*), parimenti 50 anni prima predetto dallo stesso Bessel, fornì un'altra prova non meno splendida del progresso fatto nelle ricerche astromeccaniche delle stelle molteplici. Di altri tipi di sistemi stellari (come Algol, ecc.)

(1) La stelletta sarebbe visibile nei telescopi minori, se non fosse immersa nei raggi della fulgente stella principale.

(2) Il metodo di valutare la massa dei corpi celesti riserviamo per l'Astrofisica. Una memoria dell'Auwers vedi *Astr. Nachr.* num. 3084.

Digitized by Google

che si distinguono per la periodica variabilità della stella principale, tratteremo nel libro seguente.

625. — Concludiamo con un breve elenco di alcune stelle doppie, ordinate secondo la (probabile) parallasse delle medesime, le quali permettono quindi un confronto diretto tra la distanza, l'asse maggiore ed il periodo della rivoluzione (espresso in anni).

STELLE	GRANDEZZA	RIVOLUZIONE	PARALLASSE	SEMIASSE MAG.
α Centauri .	1 e 3,5	77,00	0,856	15″,50
η Cassiopeiae.	4 » 7	200,00	0,300	10,25
p Ophiochi .	4,1 » 6,1	94,37	0,227	4,70
ξ Bootis . .	4,5 » 6,5	160,69	0,189	5,59
ξ Ursae mag.	4 » 5,5	60,79	0,165	2,55
ξ Librae . .	5,5 » 6,5	49,05	0,130	1,75
γ Virginis. .	3 » 3	185,00	0,122	3,97
ζ Herculis. .	3 » 6,5	34,72	0,115	1,22
Σ 2173 (1). .	6 » 6	45,43	0,080	1,01
44 Bootis (2) .	5 » 6	261,12	0,076	3,10
42 Comae. .	6 » 6	25,71	0,075	0,66
α Geminorum	2,5 » 2,8	996,85	0,071	7,12
η Coronae bor.	5,5 » 6	41,58	0,069	0,83
σ Coronae bor.	6 » 7	845,86	0,066	5,88
Σ 3121. . .	7,5 » 7,8	40,62	0,060	0,72
ζ Cancri . .	5 » 5,7	62,40	0,058	0,91
Σ 3062. . .	6,9 » 8,0	112,64	0,056	1,31
λ Ophiochi .	4 » 6	95,88	0,040	0,85
Σ 1938. . .	7,2 » 8,2	290,07	0,034	1,50
ω Leonis . .	6,2 » 7,0	107,62	0,034	0,78
τ Ophiochi .	5 » 6	217'87	0,033	1,19

(1) Σ si riferisce al catalogo di Guglielmo Struve.
(2) I numeri avanti ai nomi sono quelli del catalogo di Flamsteed.

Digitized by Google

COROLLARIO I. — MOTI SINGOLARI DI STELLE.

626. — Un confronto fatto dallo Halley delle posizioni delle stelle fisse, indicate nel catalogo di Tolomeo (num. 16) colle posizioni moderne, suscitò il sospetto, che anche molte stelle fisse, simili anche in ciò al nostro Sole, fossero dotate di movimenti proprii, più o meno rettilinei, differenti da quelli orbitali considerati finora. Si cominciò quindi, dal principio del secolo scorso, a sorvegliare diligentemente le stelle sospette, e difatti nel caso di più di 4000 stelle si potè constatare l'esistenza di tali movimenti. Lo spostamento apparente annuo è piccolissimo, e solamente nel caso di circa un centinaio, supera 1 secondo di arco. Soltanto dopo molte osservazioni, continuate per parecchi secoli, come nel caso del nostro Sole (num. 616), si potrà decidere, se esista qualche vincolo fisico che unisce quei moti così varii, e se vi sia qualche corpo gigantesco centrale che regoli i medesimi. La concordanza di certi spostamenti, come per esempio delle cinque stelle [$\beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \zeta$] dell' Orsa maggiore (vedi fig. 291, pag. 575), [1] di α, β, η del Cane minore, di δ, ε, ζ dell' Idro, ecc., sembrano indicare un tal vincolo. Si noti poi, che lo spostamento osservato, indica soltanto il moto apparente, ossia la proiezione del moto vero sul fondo del cielo. Per valutare la velocità assoluta di quei movimenti, si dovrebbero conoscere (oltre i moti del nostro sistema solare) la distanza dell'oggetto e la direzione del moto. La spettroscopia però (come vedremo) ha semplificato non poco il problema. Generalmente parlando i moti proprii scoperti e sufficientemente controllati, non superano quelli conosciuti nel nostro sistema planetario. La massima velocità finora bene accertata è quella di ζ Ercole, la quale stella, avvicinandosi al nostro sistema solare, percorre ogni minuto secondo circa 70 chilometri. [2]

(1) Le stelle α ed η della medesima costellazione mostrano (oltre lo spettro diverso) una direzione del tutto contraria, dimodochè il noto asterismo (num. 12) in molti migliaia di anni cambierà considerevolmente d'aspetto. Sui moti propri rivelati dallo spettroscopio vedi il libro seguente.

(2) Velocità maggiori (di 100 fino 300 km.) asserte da alcuni astronomi, hanno bisogno di ulteriore conferma.

Digitized by Google

COROLLARIO II. — STELLE DOPPIE: OGGETTI DI PROVA DELLA BONTÀ D'UN TELESCOPIO ASTRONOMICO.

627. — Diamo qui una lista di alcune stelle doppie con l'indicazione della relativa grandezza e distanza (media), le quali possono servire come oggetto di prova pei varii telescopi astronomici.

I. Telescopio di 5 cm. di apertura, circa 80 cm. di distanza focale.

Stelle . .	ζ Orsa mag.	γ Androm.	ϑ Serpente	κ Ercole	ζ Lira
Grandezza	3-5	3-5	4-4	5-6	4-5
Distanza .	14″	11″	22″	30	44″

II. Telescopi di 8 o 10 cm. di apertura, di circa 1 metro di distanza focale.

Stelle . .	Castor	π Boote	ζ Cancro	ι Pesci	Polare
Grandezza	2-3	5-6	5-6	7-7	2-9
Distanza .	6″	6″	5″	4″	19″

III. Telescopi di 12 o 16 cm. di apert. e di 2 metri di distanza focale.

Stelle . .	β Orione	ρ Ercole	ε Boote	ζ Boote	ε Ariete
Grandezza	1-10	4-6	3-6	4-5	5-6
Distanza .	9″	4″	3″	1″	1″

IV. Telescopi più grandi dei precedenti.

Stelle . .	ζ Ercole	φ Orsa mag.	ω Lione	γ′ Androm.	Sirio
Grandezza	3-6	5-5	6-7	5-8	1-10
Distanza .	1″	0″,5	1″	0″,5	0″,5

Quanto le immagini delle singole stelle appariscono più nette e staccate, tanto migliore sarà il telescopio; si consideri però che anche la bontà della vista dell' osservatore, come

Digitized by Google

pure l'esercizio in cotali osservazioni, lo stato dell'atmosfera e simili cose (num. 182) possono modificare il risultato. Non occorre finalmente notare, che le distanze (medie) indicate essendo variabili, possono per un certo periodo di tempo rendere la separazione ottica del binario più difficile del solito.

CAPITOLO VII.

SULLE PERTURBAZIONI DEI MOTI CELESTI

628. — Secondo la legge della gravitazione universale i corpi celesti si attraggono scambievolmente in ragione diretta della loro massa, ed in ragione inversa del quadrato delle distanze. In virtù di questa legge, di due corpi dotati di moto relativo, uno descrive una sezione conica intorno all'altro; se la massa del corpo centrale sia tale, che quella dell'altro possa trascurarsi in confronto di essa; se invece le masse dei due corpi hanno un rapporto tale, che il comune centro di gravità giace considerevolmente fuori delle medesime, ambedue descriveranno delle sezioni coniche intorno a questo centro.

Finchè si tratta di due corpi soli, la determinazione dell'orbita, ovvero delle orbite, è cosa abbastanza semplice. Più complicato diventa il problema, quando trattasi di tre corpi, dei quali il terzo perturba il moto regolare del secondo, e viceversa; sarà ancora più intricato, se invece di un corpo perturbatore, si deve tenere conto di molti. Queste « **perturbazioni** » non indicano nessuna irregolarità propriamente detta; imperocchè tutte sono regolate dalla legge della stessa gravitazione universale. Non i corpi celesti vengono perturbati, soleva già dire il celebre Newton, ma piuttosto i nostri calcoli, i quali diventano più difficili e complicati.

629. — Non può essere nostra intenzione di volere dare qui in un breve capitolo tutta la teoria delle perturbazioni, svolta in opere voluminose dai grandi maestri dell'astromeccanica: Newton, Euler, Laplace, Lagrange, Leverrier, Gauss, Hansen, Encke, Cauchy, Hill, Jakoby, Oppolzer, Gylden, Tisserand, Newcomb,[1] ecc. Contentiamoci di abbozzare le linee

(1) Le opere relative sono citate nel *Vade-Mecum de l'Astronomie* par J. C. Houzeau. Bruxelles 1882, pag. 256 segg. Un'esposizione com-

Digitized by Google

più generali dell'intricato problema, restringendo la nostra considerazione ai varii casi del nostro sistema solare, e seguendo in ciò le orme degli astronomi Herschel, Airy, Möbius, i quali dopo Newton hanno tentato di dare un'esposizione più elementare della difficile questione.

Siccome il nostro Sole dista immensamente dalle « stelle fisse » e poichè la massa solare è circa 800 volte più grande della somma di tutte le masse planetarie, ed i singoli pianeti del nostro sistema distano considerevolmente l'uno dall'altro, e si muovono in piani non molto inclinati all'eclittica, e di più hanno un'eccentricità assai piccola, le perturbazioni in questo nostro sistema generalmente parlando rimangono poco sensibili. Un'eccezione fanno gli asteroidi (num. 408) ed il pianeta Mercurio (num. 319); ma i pianetini hanno di nuovo una massa così piccola, e Mercurio è così vicino al Sole, che nè dagli uni nè dall'altro devono temersi cangiamenti nel resto del sistema. Il caso che merita più l'attenzione nostra è quello della Luna, la massa della quale in confronto di quella della Terra non può dirsi piccola e trascurabile, come nel caso degli altri satelliti, in confronto dei loro pianeti primarii.

630. — Ad onta delle suddette semplificazioni del problema, questo resterebbe nondimeno assai difficile, se si dovessero considerare tutti i corpi perturbati e perturbatori allo stesso tempo. Si possono invece considerare le attrazioni scambievoli separatamente, riducendo il problema a quello **di tre corpi soli** per volta, cioè del corpo centrale (⊙), del corpo perturbato, che se fosse solo descriverebbe un'orbita perfettamente ellittica intorno al primo, e del corpo perturbatore, il quale modifica alquanto l'andamento ellittico del precedente. Le perturbazioni in un tale sistema semplificato si chiamano anche perturbazioni di primo ordine; mentre quelle che tengono conto di più masse perturbatrici saranno di ordine più alto. L'effetto della perturbazione sarà tanto più sensibile, quanto è più piccolo il corpo perturbato e più grande il perturbatore. Per ciò i pianetini situati fra l'orbita di Marte

pendiata trovasi nel vol. VIII dell'Accademia Pontif. dei Nuovi Lincei: memoria del P. A. Caraffa d. C. d. G. svolta ed ampliata dal P. G. Foglini d. m. C., *Sopra le perturbazioni che succedono nel moto dei corpi celesti a cagione della gravitazione universale.* Roma 1892.

Digitized by Google

e Giove più degli altri pianeti risentono l'attrazione particolare di quei due vicini, specialmente del gigante Giove, la massa del quale supera quella di tutti gli altri pianeti messi insieme. Da ciò si vede facilmente, che gli elementi delle orbite degli asteroidi devono essere soggetti a continue perturbazioni; cosa che rende, atteso il grande numero di questi pianetini (n. 408), difficile la loro identificazione da un'epoca all'altra.

631. — Le perturbazioni sogliono distinguersi in **periodiche** e **secolari**, secondochè esse si ripetono più o meno nello stesso senso dopo periodi più brevi o più lunghi. Si distinguono, sotto un altro punto di vista, le perturbazioni **generali** dalle **speciali**. Le prime vengono controllate da formole generali; dove queste formole diventerebbero troppo complicate nella loro applicazione, si sogliono esaminare i movimenti particolari del corpo perturbato nelle varie posizioni per piccoli intervalli, tenendo conto dei varii influssi, ai quali si trova sottoposto in ciascheduna.

Si adopera in tal caso con vantaggio un sistema variabile di **coordinate ortogonali**; prendendo cioè per asse principale (delle ascisse) il raggio vettore del pianeta perturbato, per asse secondario (delle ordinate) un altro situato nel piano dell'orbita, il terzo (delle applicate, num. 24) perpendicolare ai precedenti. Decomponendo poi l'effetto della perturbazione secondo questi tre assi, è evidente che la prima componente (« radiale ») non cambia in nessun modo il piano dell'orbita, ma soltanto la curva; la seconda componente (ortogonale) eserciterà il suo influsso sulla velocità del pianeta alterando un poco la legge Kepleriana delle aree; la sola terza componente (trasversale) tende a spostare il piano dell'orbita.

Si suole poi procedere in questo modo: per un tempo determinato si determina la cosidetta ellisse istantanea, cioè quell'orbita che il pianeta o pianetino descriverebbe, se in quell'istante cessassero tutte le cause perturbatrici. L'ellisse predetta sarà tangente alla vera o, come suole dirsi, i suoi elementi sono osculatori all'orbita effettivamente descritta. Determinata quest'ultima per un certo tratto di tempo, alla fine del medesimo si ricomincia lo stesso processo.

632. — Calcoli di questo genere condussero già lo stesso Newton all'invenzione di una matematica superiore: il cosidetto

Digitized by Google

« calcolo delle flussioni », e Leibnizio contemporaneamente ed indipendentemente al « **calcolo differenziale ed integrale** ». Questo calcolo, chiamato anche infinitesimale, è diventato mezzo potente ed indispensabile dell'astromeccanica moderna. Siccome però un'introduzione (anche breve) nel medesimo oltrepasserebbe lo scopo prefissoci in quest'opera, rimettiamo i lettori, bramosi di penetrare più dentro nel labirinto delle perturbazioni, alle sullodate opere dei grandi maestri di queste teorie, le quali indubitatamente formano uno dei monumenti più insigni della capacità del genio umano. Le formole analitiche delle perturbazioni periodiche furono completamente sviluppate dal LAPLACE nella sua « Meccanica celeste ». Esse formano la base delle **tavole planetarie** moderne, mediante le quali si può indicare con precisione il luogo d'un pianeta qualunque per un tempo qualunque. Tali tavole furono pubblicate nel 1895 dal NEWCOMB (direttore dell'Osservatorio di Washington) relativamente ai quattro pianeti Mercurio, Venere, Terra e Marte. Simili tavole per Urano e Nettuno erano state pubblicate dallo stesso autore negli anni 1874 e 1865. Le migliori tavole per Giove e Saturno sono quelle del LE VERRIER negli annali dell'Osservatorio di Parigi 1876.

633. — Esempi di varie perturbazioni trovansi già citate nelle pagine precedenti, specialmente nella parte III (pag. 462 e seg.), dove trattasi dei varii movimenti della Luna. Lo spostamento della linea dei nodi (n. 491), di quella degli absidi (n. 493), l'accelerazione del moto medio (n. 498), le varie modificazioni delle varie rivoluzioni (n. 492), della stessa rotazione, non sono altro che perturbazioni, cagionate nell'andamento del nostro satellite. La precessione degli equinozii (n. 439) è una conseguenza della perturbazione del moto terrestre, causata dalla figura sferoidale della Terra stessa. Anzi abbiamo in ciò un esempio, come non soltanto le varie posizioni relative dei corpi celesti, ma anche la stessa **figura** dei medesimi, modificano i singoli movimenti di essi; una ragione che conferisce vieppiù a complicare la teoria delle perturbazioni. Così la Luna, da tempo immemorabile presenta alla Terra sempre la stessa faccia. Questo dimostra che il periodo di una rotazione è uguale a quello del moto medio della Luna stessa intorno alla Terra. Ora qnesto moto medio è variabile; cioè

Digitized by Google

cresce continuamente per circa 37 000 anni. La differenza, quantunque piccola, avrebbe dovuto manifestarsi, mostrandoci una parte considerevole dell'emisfero lunare, ora nascosto alla Terra. Siccome questa alterazione non è stata osservata, non resta altra spiegazione che questa, che cioè la rotazione lunare (che per sè dovrebbe essere uniforme) è soggetta a simile accelerazione, come vedremo nell'Astrofisica, trattando della costituzione del nostro satellite.

634. — Una causa perturbatrice dei moti planetarii sarebbe anche l'etere, esistente negli spazi interplanetari, il quale come **mezzo resistente**, quantunque sottilissimo, coll'andar degli anni e dei secoli dovrebbe manifestare il suo influsso sui moti dei pianeti, e più ancora su quelli dei corpi più leggieri, delle comete. Così la cometa periodica di Encke,[1] che compie una rivoluzione intorno al Sole in 1208 giorni, ad ogni ritorno arriva alcune ore più presto del tempo dovuto al suo punto di partenza, cosa che si spiega in questo modo: il mezzo resistente fa prevalere di più l'attrazione del Sole, quindi l'orbita si restringe, il moto angolare viene accelerato. Questa teoria, resa popolare dal celebre Humboldt, oggidì è di nuovo messa in dubbio; imperocchè esami più recenti, fatti con dati più precisi,[2] hanno dimostrato, che l'influsso degli altri pianeti, almeno pel periodo 1865-71, basta a spiegare le dette perturbazioni. La variabilità dell'accelerazione sembra escludere la teoria di un mezzo resistente omogeneo, quale sarebbe l'etere. Potrebbe però darsi, che negli spazi percorsi dalla cometa si trovi della materia cosmica più o meno condensata, l'esistenza della quale viene comprovata dal fenomeno degli sciami meteorici (n. 601) ed altri simili. Non mancano però altre cause, per esempio l'effluvio di materia della chioma cometaria e simili. Neanche si vede bene, perchè un mezzo resistente non dovrebbe produrre simili effetti sopra le altre comete periodiche.

(1) Questa cometa fu scoperta nel 1786 dal Méchain, fu riscoperta nei suoi ritorni 1796 (da Carolina Herschel), 1805 (dal Bouvard), 1819 (dal Pons). Quello però che riconobbe per la prima volta l'identità dell'oggetto di queste scoperte, fu il detto Encke.

(2) Queste ricerche, fatte sotto la direzione dell'astronomo Backlund, occuparono per parecchi anni più calcolatori. Le masse dei pianeti perturbatori erano allora meglio conosciute.

Digitized by Google

635. — Tra i pianeti maggiori, oltre l'esempio già mentovato della scoperta di Nettuno (n. 404), la storia delle perturbazioni scambievoli di **Giove e Saturno** merita qui una speciale menzione. Halley trovò, che dai tempi di Ipparco la durata d'una rivoluzione di Giove era diminuita, quella di Saturno invece era cresciuta; cioè il moto medio del primo mostrava accelerazione, quello dell'altro invece ritardo. Per lungo tempo si cercò invano la causa di questo fenomeno. Anzi quando verso la fine del secolo XVIII il Lambert, confrontando le sue proprie osservazioni con quelle di Tycho Brahe, constatava, che il caso era precisamente il contrario, cioè che il moto medio di Giove mostrava un continuo ritardo, quello di Saturno invece continua accelerazione, molti espressero i loro dubbi sull'esattezza di tutte quelle osservazioni. Laplace però, mantenendo l'accuratezza di queste, dimostrò trattarsi di una perturbazione periodica di lunga durata, di circa 930 anni, finiti i quali, l'accelerazione dell'uno si cambia in ritardo, e viceversa il ritardo dell'altro si cambia in accelerazione.[1] L'ultimo massimo di quelle vicende ebbe luogo nel 1560, quando il moto di Giove aveva un massimo di velocità, quello di Saturno un minimo. Nel 1790 invece tutti e due avevano il loro valore medio. Un altro massimo, ma in senso inverso, avrà luogo nell'anno 2020.

636. — **L'influsso dei grandi pianeti sulle comete** e conseguentemente sulle loro orbite può essere tale, che le perturbazioni dell'orbita primitiva producano un'orbita tutta nuova. Anzi si può parlare letteralmente di comete catturate ed annesse stabilmente al nostro sistema solare, specialmente dal potente pianeta Giove. Una cometa, la quale con orbita parabolica, ovvero iperbolica, entra nel nostro sistema solare, per fare il suo giro intorno al Sole, può casualmente

(1) L'astronomia delle Indie orientali, appoggiandosi sulle tavole planetarie, richiama per sè un'età favolosa di circa 4000 anni. Ora quelle tavole sono evidentemente state fatte in un periodo, quando il moto di Saturno era lentissimo, quello di Giove velocissimo. Confrontando questa circostanza colle eccentricità planetarie, contenute in quelle tavole, si può secondo Laplace con grande probabilità assegnare come tempo della loro costruzione il principio del secolo XVI dopo Cr., quando la civiltà europea penetrò in quei paesi.

Digitized by Google

tanto avvicinarsi ad uno dei pianeti maggiori, che venga totalmente deviata dall'orbita primitiva.(1) La cometa che stava per partire dal nostro sistema solare, può venire costretta dall'attrazione del pianeta vicino a ritornare di nuovo verso il Sole; l'orbita parabolica può diventare ellittica, la cometa diventa periodica (Fig. 294). Difatti v'ha una serie di comete periodiche, circa un terzo di quelle conosciute (cf. Fig. 283, pag. 552),

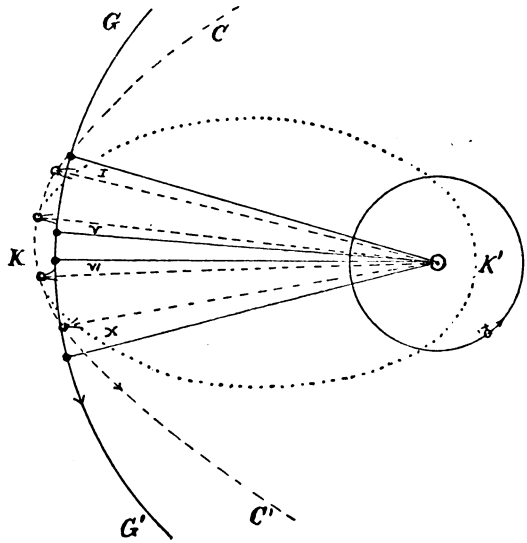


Fig. 294. Cometa catturata dal pianeta Giove.

(1) La piccolezza della massa d'una cometa relativamente a quella dei pianeti, anche secondari, viene provata dalla cometa scoperta nel 1770 dal Messier. Essa, occupando uno spazio di un diametro 13 volte più grande del diametro lunare, attraversò il sistema di Giove, passando tra il pianeta ed i suoi satelliti. Mentre la corsa della cometa fu del tutto cambiata, i quattro satelliti di Giove non mostrarono la minima alterazione, molto meno il pianeta stesso. La curva CC' della figura 294 indica l'orbita ellittica della cometa prima del 1770. In quest'anno le posizioni relative di Giove nell'orbita GG' e della cometa nei mesi gennaio (I), maggio (V), giugno (VI) ed ottobre (X) erano quelle indicate. Dalle perturbazioni risultava per la cometa la nuova orbita K K', con un periodo di soli cinque anni e mezzo. Anzi in simili casi la cometa potrebbe essere costretta a rimanere come satellite col pianeta; benchè nel caso dei satelliti esistenti sembra poco probabile, che siano stati catturati in questo modo.

Digitized by Google

l'afelio delle quali trovasi in vicinanza del pianeta Giove, mentre le altre si distribuiscono tra Saturno, Urano e Nettuno. Anzi l'esistenza e disposizione di parecchi afelii oltre il pianeta Nettuno sembra accennare l'esistenza d'un pianeta ultranettuniano ancora da scoprirsi.

Corollario I. — Perturbazioni del moto della Terra.

637. — Un'importanza speciale pratica per noi, hanno i moti del nostro pianeta terrestre, dai quali dipendono in gran parte le **condizioni climatiche**, anzi l'abitabilità o l'inabitabilità del medesimo. Variazioni considerevoli dell'eccentricità dell'orbita, della longitudine del perielio, dell'inclinazione dell'asse di rotazione all'eclittica, ecc. potrebbero portare seco delle conseguenze così radicali, che regioni terrestri, che ora godono di un clima temperato, potrebbero coprirsi di ghiaccio perpetuo; che viceversa altre, che hanno ora un clima assai rigido, potrebbero produrre una vegetazione tropica. Infatti le scoperte geologiche mostrano, che il nostro globo terraqueo deve esser passato per simili vicende, delle quali tratteremo più a lungo nel libro seguente. Quello che interessa qui è di sapere, quanto simili cambiamenti possano dipendere dalle perturbazioni planetarie.

638. — Inseriamo a ciò qui un piccolo quadro degli **elementi variabili** del nostro pianeta secondo le tavole di Le Verrier, per far vedere a colpo d'occhio le variazioni passate e future per molti secoli, anzi per circa 200 000 anni. Le variazioni dell'inclinazione si riferiscono all'eclittica del 1800.

Vediamo per esempio, che l'eccentricità dell'orbita, circa 1000 secoli prima dell'èra nostra, era quasi tre volte maggiore di quella del tempo presente; anzi il suo valore andrà ancora scemando per circa 200 secoli, per arrivare ad un quarto del valore presente. Crescerà poi di nuovo fino agli anni 70 000, per scemare di nuovo. Simili oscillazioni si notano circa la longitudine del perielio. Questo si trova ora in una posizione, dove circa 120 000 anni fa stava l'afelio, e dove questo si troverà di nuovo dopo circa 27 000 anni, mentre per il

Digitized by Google

Elementi variabili dell'orbita terrestre.

	Epoca	Eccentricità	Long. Periel.	Inclinaz.	Long. Nodo
Avanti Cristo	98200	0,0473	316° 18′	3°45′ 31″	96° 34
	88200	0,0452	340 2	2 42 19	76 17
	78200	0,0398	4 13	1 18 58	73 47
	68200	0,0316	27 22	1 13 58	136 8
	58200	0,0218	41 8	2 36 42	136 9
	48200	0,0131	50 44	3 40 11	116 9
	38200	0,0109	28 36	4 3 1	91 59
	28200	0,0151	25 50	3 41 51	66 49
	18200	0,0188	44 0	2 44 12	41 34
	8200	0,0195	69 47	1 24 35	16 39
Dopo Cristo	1800	0,0168	99 30	0 0 0	0 0
	11800	0,0115	134 14	1 14 26	148 15
	21800	0,0047	192 22	2 7 46	24 29
	31800	0,0059	318 47	2 33 19	75 29
	41800	0,0124	6 25	2 27 53	48 31
	51800	0,0173	38 3	1 51 54	48 13
	61800	0,0199	64 31	1 51 52	10 47
	71800	0,0211	86 14	1 34 35	220 38
	81800	0,0188	101 38	1 45 40	170 15
	91800	0,0176	109 19	2 40 56	139 3
	101800	0,0189	114 5	3 2 57	109 57

Digitized by Google

ritorno del perielio al medesimo punto passeranno 80 000 anni. Per sè sembra cosa di poca importanza, verso quale punto del cielo sia diretto l'asse maggiore dell'orbita, ma non è così a cagione dell'eccentricità variabile. Da questa dipende in gran parte la temperatura media annua della superficie planetaria, come pure la variazione della durata delle stagioni. Se l'eccentricità diventasse notevole, anche gli estremi di temperatura nell'inverno e nell'estate, che ora sono quasi unicamente dovuti all'inclinazione dell'asse di rotazione (num. 451), diventerebbero più considerevoli, e ciò con influsso fatale sul regno vegetale ed animale sulla Terra. Le due cause accennate potrebbero ora elidersi scambievolmente, ora invece sommarsi con conseguenze pericolosissime per la vita terrestre. Fortunatamente la provvidenza del Creatore ha ordinate le cose in un modo, che queste variazioni si mantengano dentro limiti abbastanza ristretti.

Corollario II. — Stabilità del sistema planetario.

639. — Colla questione delle perturbazioni è intimamente connessa quella della stabilità del sistema planetario, la quale per ragioni ovvie è stata assoggettata ad un esame rigoroso da autorità competenti.

Se le perturbazioni secolari delle orbite planetarie agissero sempre nello stesso senso, un crollo finale del sistema sembrerebbe inevitabile, e l'astronomo avrebbe l'ingrato ufficio di calcolare colla dovuta precisione l'arresto del grande orologio celeste. Se per es. l'asse maggiore d'un pianeta particolare andasse sempre cresendo o scemando, uno staccamento dall'astro centrale del benefico Sole o viceversa, un precipitarsi nella fornace ardente del medesimo, sarebbe la conseguenza. La Luna verrebbe a precipitarsi sulla Terra, viceversa le acque della Terra sollevandosi, anche prima della collisione, inonderebbero tutta la superficie terrestre. Tali collisioni cogli altri pianeti, acquisterebbero tanto più di probabilità, quanto l'inclinazione delle loro orbite si avvicinasse più ad un piano comune. Ora una circostanza, che a prima vista sembra accennare a poco ordine, dopo un esame più profondo della cosa, mostra in-

Digitized by Google

vece la sapienza del Creatore, il quale ha voluto conservare l'opera sua per un tempo indefinito.

640. — I **tempi periodici** delle rivoluzioni planetarie sono tra loro incommensurabili, cioè uno non è un perfetto multiplo dell'altro. Giove p. es. fa una rivoluzione in 4333 giorni, Saturno in 10759. Il rapporto di questi numeri è quasi, ma non perfettamente, come 2:5. Se fosse così perfettamente, le perturbazioni scambievoli di questi due giganti del nostro sistema (n. 635) produrrebbero nell'uno un continuo accrescimento dell'asse maggiore, nell'altro una continua diminuzione: il pericolo d'una collisione finale sarebbe inevitabile. Ora invece le variazioni, essendo periodiche, oscillano intorno a certi valori medii, i quali assicurano la stabilità delle orbite dei due pianeti.

Lo stesso vale rispetto agli elementi degli altri pianeti. L'asse maggiore rimane costante, l'eccentricità e l'inclinazione delle orbite, cioè i due elementi, che oltre il primo sono di grande importanza nella presente questione, rimangono dentro limiti abbastanza ristretti, assicurando così la stabilità indeterminata del sistema planetario.

641. — **Il moto** di tutti i corpi del sistema nello stesso senso intorno al Sole, insieme colla **distribuzione delle masse** nel medesimo sistema, sono un'ulteriore garanzia per la stabilità del medesimo. Il Sole colla sua massa preponderante è il governatore di tutto il sistema; i pianeti che mostrano maggiore eccentricità e maggiore inclinazione delle orbite, come i pianetini tra Marte e Giove, o lo stesso pianeta Mercurio, hanno piccola massa, e quindi sono inetti a perturbare di molto gli altri pianeti. Lo stesso dicasi delle comete (n. 595), dalle quali piuttosto potrebbe temersi un pericolo improvviso.

«Sembra quindi, così scrive lo stesso Laplace,[2] una grande autorità in questa materia, sembra quindi che la natura, per assicurare la durata di questo sistema, abbia tutto disposto nei cieli in modo somigliante, come ha fatto quaggiù sulla Terra in un modo maraviglioso, per la conservazione degli individui e per la perpetuità delle specie. Il filosofo però

(2) «Exposition du système du monde» (II ed.), Paris an 7 (della repubblica), pag. 346.

Digitized by Google

(continua lo stesso autore) non deve essere soddisfatto di una mera ammirazione di tale disposizione, egli deve indagare le leggi primordiali della natura, la causa dei fenomeni e dello stesso ordine ammirabile ».

642. — Se gli stessi filosofi pagani, ai quali fu dato di scoprire soltanto poche di quelle leggi, si sentivano nondimeno rapiti ad ammirare la potenza, la sapienza, la provvidenza e sopra tutto l'immensità del **Creatore dell'universo**,[1] quanto più un filosofo dei nostri tempi in mezzo alla luce di una scienza progredita dovrebbe riverentemente chinare la fronte ed il ginocchio davanti a quell'Ente supremo, gli infiniti attributi del quale risplendono tanto più nell'universo, quanto questo viene più esplorato dall'occhio sagace dell'uomo sapiente. Se un Copernico, [2] un Keplero, [3] un Newton, [4] i tre grandi fondatori dell'Astronomia moderna, in mezzo alle loro speculazioni e calcoli proruppero quasi spontaneamente in parole di lode e di ammirazione dell'Onnipotente, non sarà difficile di formarsi un giudizio sul tanto decantato preteso dissidio tra scienza e fede, natura e rivelazione.

« Tutte le scienze, scrive il P. SECCHI, [5] menano alla cognizione del Creatore, ma l'astronomia in un modo tutto spe-

(1) Ci piace per ciò di citare letteralmente un testo di Cicerone: « Cum videmus speciem primam, candoremque coeli, deinde conversionis celeritatem tantam, quantam cogitare non possumus; tum vicissitudines dierum et noctium, commutationesque temporum quadripartitas, ad maturitem frugum et ad temperationem corporum aptas, eorumque omnium moderatorem e ducem Solem: Lunamque accretione et deminutione luminis quasi fastorum notis signantem dies; tum in eodem orbe in duodecim partes distributo, quinque stellas ferri, eosdemque cursus constantissime servantes, disparibus inter se motibus; nocturnamque coeli formam... haec igitur et alia innumera cum cernimus, possumusne dubitare, quin his praesit... aliquis effector? » (*Tuscul.* I, 28, 29).

Queste parole formano un bel commentario di quelle altre della Sacra Scrittura: « Invisibilia Dei a creatura mundi per ea quae facta sunt intellecta conspiciuntur » (Rom. I, 20).

(2) Vedi sopra pag. 340, nota 2.

(3) Vedi pag. 355, nota 2.

(4) Vedi pag. 386, Corollario.

(5) In una prolusione al corso annuale di astronomia, letta al Collegio Romano.

Digitized by Google

ciale e caratteristico. I cieli veramente cantano le glorie del Dio forte! Il giorno ci stordisce colle meraviglie, la notte ci apre i tesori della scienza!... Non parlano, nè fanno strepito di voce, ma su tutta la terra, nel mondo tutto si spande il mistico linguaggio:

Coeli enarrant gloriam Dei, et opera manuum eius annuntiat firmamentum.

Ps. XVIII.

Digitized by Google

INDICE

LIBRO I: ASTROMETRIA

PARTE I.

Orientazione sulla Sfera celeste.

CAPITOLO I. Concetto della Sfera celeste . . . . . Pag. 1
Coroll. Apparenza della volta celeste 4
CAPITOLO II. Gli astri e le costellazioni 5
CAPITOLO III. Coordinate della Sfera celeste. (Prenozioni) 24
ART. I. Sistema di coordinate alt-azimutali, riferite al piano dell'orizzonte. 26
ART. II. Coordinate equatoriali 29
ART. III. Coordinate eclitticali 32
Coroll. I. Modificazioni delle coordinate celesti coll'introduzione del meridiano 35
Coroll. II. Relazioni tra i vari circoli della Sfera celeste e del globo terrestre. Zone e climi 38
Coroll. III. La rosa dei venti 41
CAPITOLO IV. Rappresentazione materiale della sfera celeste. Globi celesti e sfere armillari 42
CAPITOLO V. Proiezioni della sfera. Planisferi e carte celesti. (Prenozioni) 46
ART. I. Proiezione stereografica 53
ART. II. Proiezione ortografica 58
ART. III. Proiezione gnomonica 63
Coroll. Proiezioni con sviluppi 67

PARTE II.

Relazione tra la Sfera celeste ed il tempo.

CAPITOLO I. Le varie nozioni del tempo . . . . . Pag. 70
Coroll. Origine della divisione del circolo in 360° e del giorno in 24 ore 75

*

Digitized by Google

CAPITOLO II. Determinazione del tempo per mezzo dell'ombra solare. (Prenozioni) . . . . . Pag. 77
ART. I. Orologi solari equatoriali 81
ART. II. Orologi solari orizzontali 85
ART. III. Orologi solari verticali 88
Coroll. I. Orologi solari sul piano del meridiano . . . 95
Coroll. II. Trasformazione del tempo solare apparente in tempo medio 96
Tavola dell'equazione del tempo 98
Coroll. III. Meridiana a tempo medio 100
CAPITOLO III. Determinazione del tempo per mezzo di orologi meccanici. (Prenozioni storiche) 104
ART. I. Pendolo astronomico 110
ART. II. Cronometri trasportabili 115
ART. III. Cronografi 120
Coroll. I. Regolamento, stato ed andamento d'un orologio . 123
Coroll. II. Confronto di due orologi. 125

PARTE III.

Strumenti astrometrici.

CAPITOLO I. Strumenti principali degli antichi . . . . . Pag. 126
ART. I. Strumenti senza circoli graduati. 126
ART. II. Strumenti con circoli graduati 131
CAPITOLO II. Strumenti ausiliari (antichi e moderni) 136
ART. I. Il nonio o verniero 136
ART. II. Vite di richiamo e vite micrometrica 139
ART. III. La livella 140
CAPITOLO III. Strumenti goniometrici più recenti 146
ART. I. Il sestante 146
ART. II. Circoli con lettura moltiplicata. Circoli ripetitori. . 151
ART. III. Circoli muniti di specchi prismatici 153
ART. IV. Prisma di passaggio. Dipleidoscopio 155
CAPITOLO IV. Il telescopio 157
ART. I. Prenozioni storiche. (Rifrattori e Riflessori) 157
ART. II. Misura delle immagini telescopiche. Micrometri . . 171
Coroll. Oculari micrometrici. Determinazione dell'ingrandimento. Dinametro 178
ART. III. Le varie montature del telescopio 180
A) Strumento dei passaggi. Circolo meridiano . 180
B) Strumenti altazimutali. Teodolite ed Universale 185
C) Equatoriale. 187
D) Cercatori di orbite e di comete. Osservatorio astronomico. 195

Digitized by Google

PARTE IV.

La trigonometria sferica applicata all'astrometria.

CAPITOLO I. Prenozioni generali . . . . . Pag. 198
CAPITOLO II. Teoremi preliminari 200
CAPITOTO III. Teoremi generali. Relazioni tra le funzioni trigonometriche dei lati e degli angoli di un triangolo sferico qualunque. 204
Coroll. I. Formole pel triangolo rettangolo. 208
Coroll. II. Formole adattate al calcolo logaritmico . . . 209
Coroll. III. Vantaggi delle varie funzioni trigonometriche . 213
Coroll. IV. Schema del calcolo con esempio. 213
CAPITOLO IV. Formole di Gauss ed analogie di Napier 215
CAPITOLO V. Alcune applicazioni delle formole precedenti . . . 218
ART. I. Ricerca dell'angolo orario di un astro qualunque. . 218
ART. II. Nascere e tramontare degli astri. Ricerca dell'arco semidiurno 220
Coroll. Apparente disuguaglianza degli archi semidiurni solari 223
ART. III. Determinazione del crepuscolo 224
ART. IV. Esempio spettante alla gnomonica. (Meridiana media) 229
ART. V. Determinazione dell'azimut assoluto di un astro. Riduzione di un angolo qualunque all'orizzonte. Ampiezza ortiva ed occasa di una stella 231
CAPITOLO VI. Trasformazione delle Coordinate celesti. (Vari metodi) 232

PARTE V.

Modificazioni delle misure astrometriche.

CAPITOLO I. Rifrazione astronomica . . . . . Pag. 240
Tavola della rifrazione media. 245
Tavola per cambiare la rifrazione media in vera . . . 246
Coroll. I. Forma ellissoidale del Sole presso l'orizzonte . 247
Coroll. II. Accelerazione del nascere e ritardo nel tramontare degli astri. 248
Coroll. III. Variazione dell'ampiezza d'una stella 250
CAPITOLO II. La parallasse 251
CAPITOLO III. La posizione geografica dell'osservatore sulla Terra . 254
ART. I. Determinazione della latitudine geografica 255
ART. II. Determinazione della longitudine geografica. . . . 259
Coroll. Astronautica 264

Digitized by Google

CAPITOLO IV. Figura e dimensioni della Terra . . . . . Pag. 271
ART. I. Vari metodi adoperati per la misura del globo terrestre 271
ART. II. Della figura sferoidale della Terra 278
Tavola della lunghezza degli archi meridiani e paralleli nelle varie latitudini. 286
Coroll. I. Il metro, la diecimilionesima parte del quadrante di un meridiano 287
Coroll. II. Distinzione tra latitudine geografica e geocentrica 288
Coroll. III. Modificazione delle formole stabilite per la parallasse 290
CAPITOLO V. Riassunto e conclusione 292
Appendice. Osservatori astronomici principali 294

LIBRO II: ASTROMECCANICA

PARTE I.
Studi generali sui moti planetari.

CAPITOLO I. I moti apparenti nel nostro sistema planetario . Pag. 297
CAPITOLO II. Sistemi planetari degli antichi 307
ART. I. Prenozioni generali. (Astrologia ed astronomia) . . 307
ART. II. Sistema planetario delle sfere omocentriche. . . . 313
ART. III. Sistema della scuola pitagorica 319
Coroll. L'armonia delle sfere 321
ART. IV. Sistema di Eraclide Pontico ed Aristarco di Samo . 323
ART. V. Sistema tolemaico 329
Coroll. Conciliazione delle sfere omocentriche col sistema tolemaico. 339
CAPITOLO III. Sistema planetario moderno 340
ART. I. Sistema di Copernico 340
Coroll. Apprezzamento delle prove di Copernico 352
ART. II. Le leggi di Keplero. 353
ART. III. Galileo Galilei, propugnatore del sistema copernicano 362
ART. IV. Newton e la gravitazione universale 379
Coroll. Scholion di Newton. 386
CAPITOLO IV. Nuove scoperte nel sistema planetario. La legge di Titius. Urano, Nettuno e gli asteroidi. Pianeti secondari o satelliti 387

PARTE II.
Moti planetari della Terra.

CAPILOLO I. Prove per la rotazione diurna della Terra intorno ad un asse proprio . . . . . Pag. 397
ART. I. Argomenti dedotti dalla variazione del pendolo e del giroscopio 397
ART. II. Prove dedotte dalla forza centrifuga sviluppata nella rotazione della Terra 402
Coroll. Ristabilimento di argomenti antichi 408

Digitized by Google

CAPITOLO II. Il moto di traslazione della Terra intorno al Sole Pag. 410
ART. I. Prova dedotta dall'aberrazione della luce 410
ART. II. La parallasse delle stelle prova la traslazione della Terra 414
ART. III. Argomenti dedotti da fenomeni osservati più recentemente 416
CAPITOLO III. Spostamenti angolari dell'asse della Terra 418
ART. I. La precessione degli equinozi 418
ART. II. Nutazione dell'asse terrestre 425
ART. III. Variazione dell'obliquità dell'eclittica 427
Coroll. Posizione media di un astro 428
CAPITOLO IV. Elementi dell'orbita terrestre 429
ART. I. L'eccentricità dell'orbita 430
ART. II. Posizione dell'asse maggiore 432
Coroll. Spostamento della linea degli absidi. Varie nozioni dell'anno. 433
ART. III. Determinazione del semiasse maggiore dell'orbita terrestre, ossia della distanza media del Sole dalla Terra . . . 434
ART. IV. Moto medio della Terra 439
CAPITOLO V. Il problema di Keplero 441
ART. I. Data l'anomalia media, trovare l'eccentrica. . . . 443
ART. II. Data l'anomalia eccentrica, trovare il raggio vettore 445
ART. III. Data l'anomalia eccentrica, trovare la vera. . . . 446
Coroll. I. Trovare il raggio vettore per mezzo dell'anomalia vera 447
Coroll. II. Soluzione grafica del problema di Keplero . . 448
Coroll. III. Applicazione all'orbita terrestre 451
Coroll. IV. Equazione del centro. 452

PARTE III.

Movimenti della Luna.

CAPITOLO I. Nozioni generali e preliminari . . . . . Pag. 453
CAPITOLO II. L'orbita lunare ed i suoi elementi 456
CAPITOLO III. Disuguaglianze nei moti della Luua 462
Coroll. Perturbazioni dei moti lunari nel senso della latitudine 468
CAPITOLO IV. Teoria delle eclissi 468
ART. I. Nozioni generali sulle eclissi lunari e solari . . . 468
ART. II. Determinazione delle eclissi lunari. 474
ART. III. Eclissi solari 486
Coroll. Occultazione delle stelle dietro la Luna 498
CAPITOLO V. Calendari e lunari 500
ART. I. Prenozioni 500
ART. II. Calendario romano, riordinato da Giulio Cesare . . 503
ART. III. Riforma del calendario Giuliano fatta dal papa Gregorio XIII 508

Digitized by Google

ART. IV. Calendario ecclesiastico . . . . . Pag. 511
Coroll. I. Pretesa perfettibilità del Calendario 524
Coroll. II. Cambiamento della data. 527
Coroll. III. Epoche cronologiche 530

PARTE IV.

Orbite varie dei corpi celesti.

CAPITOLO I. Varie specie di orbite . . . . . Pag. 535
CAPITOLO II. Orbite planetarie del sistema solare 539
ART. I. Trasformazione delle coordinate geocentriche in eliocentriche 539
ART. II. Elementi di un'orbita planetaria 541
Coroll. I. Elementi delle orbite dei pianeti maggiori . . . 548
CAPITOLO III. Orbite delle comete 549
CAPITOLO IV. Orbite delle stelle cadenti 558
Coroll. I. Traiettoria dei bolidi ed aeroliti 569
Coroll. II. Collisione della Terra con una cometa 570
CAPITOLO V. Orbita del Sole 571
CAPITOLO VI. Orbite delle stelle 574
Coroll. I. Moti singolari di stelle 582
Coroll. II. Stelle doppie: oggetti di prova della bontà d'un telescopio. 583
CAPITOLO VII. Sulle perturbazioni dei moti celesti 584
Coroll. I. Perturbazioni del moto della Terra 591
Coroll. II. Stabilità del sistema planetario 593

Digitized by Google

IMPRIMATUR

Fr. Albertus Lepidi O. P., S. P. Ap. Magister.

IMPRIMATUR

Iosephus Ceppetelli Constantinop. Patriarcha, Vicesgerens.

Digitized by Google

Digitized by Google

MÜLLER: ASTRONOMIA

COST

Digitized by Google

Digitized by Google

MÜLLER: ASTRONOMIA

COS

Digitized by Google

Osservatorio astronomico moderno (pag. 196).

Digitized by Google